

Teknillinen korkeakoulu
Energialaite

Arto Saarnio

Ydinjätehuollon kustannusarvion analyysi
Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
Diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 28.11.2008

Työn valvoja: Professori Pekka Pirilä

Työn ohjaaja: DI Esko Tusa

Tekijä: Arto Saarnio

Työn nimi: Ydinjätehuollon kustannusarvion analyysi

Päivämäärä: 28.11.2008

Sivumäärä: 69

Osasto: Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta

Professuuri: Energiatalous

Työn valvoja: Professori Pekka Pirilä, Teknillinen korkeakoulu

Työn ohjaaja: DI Esko Tusa, Fortum Oyj

Kaikkien tähän mennessä syntyneiden ydinjätteiden tulevaa huoltoa varten on jo kerätty voimayhtiöiltä tarvittavat varat epävarmuuslisineen valtion ydinjätehuoltorahastoon. Tässä diplomityössä tarkastellaan monipuolisesti nykyistä kustannusarviota ja sen eri osaluokkia. Erityisesti käytetään todennäköisyyspohjaista lähtökohtaa arviointiin ja laskentaan.

Suurissa projekteissa on melko tavallista, että kustannukset ylittyvät ennakkoidusta. Kustannusten ja niiden riskien arviointiin on kehitetty useitakin menetelmiä. Monet niistä, kuten esimerkiksi Ruotsin ydinjätehuoltoyhtiön SKB:n käyttämä Lichtenbergin menetelmä, ovat kuitenkin käytännössä monimutkaisia ja kalliita. Tässä diplomityössä on kehitetty parempi menettelytapa, jossa erityisesti kiinnitetään huomiota kustannuserien sisällä jo oleviin varautumisiin ja lopullisessa toteutuksessa mahdollisesti käytettäviin edullisempiin vaihtoehtoihin ratkaisuihin.

Suoritettua analyysia pohjalta voidaan yleisesti todeta riskien olevan jo hyvin huomioon otettuja nykyisissä kustannuserissä. Sekä yleisesti että kustannuseräkohtaisesti katsoen huomionarvoisia riskejä on vain kourallinen, kun taas potentiaalisia mahdollisuuksia alhaisempiin lopulta toteutuviin kustannuksiin on paljon enemmän.

Arviointityön jälkeen on suoritettu yhteenlasku sekä analyttisesti että Monte Carlo -simuloinnilla muutamalla erilaisella reunaehdolla. Tulosten perusteella voidaan todeta, että rahastoon kerätyt varat kokonaisuudessaan riittävät erittäin suurella varmuudella ydinjätehuollon käytännön toteuttamiseen.

Avainsanat: Ydinjätehuolto, Kustannusarvio, Budjetin ylitykset, Riskianalyysi, Lichtenbergin menetelmä, Monte Carlo-simulointi

Author: Arto Saarnio

English title: Analysis of the Cost Estimate for Nuclear Waste Management

Date: 28.11.2008

Number of pages: 69

Department: Faculty of Electronics, Communication and Automation

Professorship: Energy Economics

Supervisor: Professor Pekka Pirilä, Helsinki University of Technology

Instructor: M. Sc. Esko Tusa, Fortum Oyj

All money needed for management of nuclear waste accumulated so far in Finland have been collected from the power companies to the national nuclear waste fund. In this master's thesis current cost estimates are being analyzed with versatile aspects, especially by using probability based calculation.

Cost overruns are very common in large projects. Various methods have been developed in estimating budget and the risk of cost overrun. Many of them, like the Lichtenberg method used by the Swedish nuclear waste handling company SKB, are in practice too complicated and expensive. One aim of this thesis is to take budget estimation to a more concrete level. Every project has also various technical possibilities for lower costs and at least in very long projects these should be discussed as well.

According to the analysis we can generally come into conclusion that the most of the risks have already been taken into account in the current cost items. Both by looking generally and by cost item –level there are only a handful of remarkable risks whereas potential possibilities for cost savings exist much more.

After the analysis and estimations the estimated total costs have been calculated with both analytical and Monte Carlo –methods with couple of different conditions. According to the results we can come into conclusion that the money collected to the fund will be enough with very high probability to manage all the practical costs of waste management and decommissioning.

Key words: Nuclear waste management, Cost estimate, Risk analysis, Budget overruns, Lichtenberg method, Monte Carlo-simulation

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Fortum Oyj:ssä opinnäytteeksi Teknillisen korkeakoulun Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunnalle. Tahdon kiittää lämpimästi Energiatalouden professori Pekka Pirilää työn valvonnasta.

Erityisesti haluan kiittää työni ohjaajaa DI Esko Tusaa ja koko osastomme porukkaa mahdollisuudesta tehdä työ mukavan rennossa ja asiantuntevassa työyhteisössä.

Lopuksi kiitos vanhemmilleni vakaasta ja turvallisesta kasvuympäristöstä, jolla on ollut opintoja edesauttava vaikutus.

Espoossa 24.11.2008



Arto Saarnio

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	7
2	Ydinjätehuollon toteutuksesta yleisesti.....	8
3	Yleistä kustannus- ja todennäköisyyslaskennan teoriaa	13
4	Nykyinen laskentakäytäntö	15
5	Uuden laskentatavan ja arviointimenettelyn kehittäminen	20
5.1	Ruotsalainen laskentamenettely	20
5.2	VTT:llä ja Fortumilla tehdyt laskelmat.....	22
5.3	Riskianalyysimenettelyjen kirjallisuusselvitystä	25
5.4	Oma riskianalyysi- ja laskentamenettely	25
6	Kustannuserien arviointi ja riskianalyysi.....	27
6.1	Yleisiä ja yhteisiä riskejä	27
6.1.1	Inflatoriset riskit.....	28
6.1.2	Projektihallinnolliset riskit.....	31
6.1.3	Vaatimukset, poliittiset ja ”tiedostamattomat riskit”.....	32
6.2	Kustannuserät, niihin liittyvät mahdollisuudet ja riskit sekä jakaumien arvotus 33	
7	Laskentaa	48
7.1	Kaikki kustannuserät jakaumineen	48
7.2	Varianssit	50
7.3	Monte Carlo-simulointi.....	52
7.4	Monte-Carlo-simulointi tasajakaumilla	55
7.5	Erien välisten riippuvuuksien huomioiminen	57
7.6	Herkkyystarkastelua.....	61
7.7	Uusien voimalaitosyksiköitten vaikutus	62
8	Yhteenveto	63
9	Lähdeluettelo.....	65
	Liite 1: Ydinjätehuoltokaavio vuodelle 2008	67

LYHENTEET

IFRS	Julkisten yhtiöitten uusi tilinpäätöskäytäntö (International Financial Reporting Standards)
Lo-3	Loviisa-3, mahdollinen Loviisaan rakennettava uusi ydinvoimalaitosyksikkö
M€	Miljoonaa euroa
OL-3	Olkiluoto-3. Olkiluotoon rakenteilla oleva painevesireaktori
SKB	Ruotsin käytetyn polttoaineen loppusijoitusyhtiö (Svensk Kärnbränslehantering AB)
STUK	Säteilyturvakeskus
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
T & K	Tutkimus ja kehitys
TVO	Teollisuuden Voima Oyj
VLJ	Voimalaitosjäte
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Ydinjätehuollon kustannukset ovat yksi tärkeä osa ydinvoimalaitosten kokonaiskäyttökustannuksia. Tietty jätehuollon kustannukset hoituvat osana normaalia käyttötoimintaa. Näitä ei kerätä rahastoon, mutta tulevaisuudessa tapahtuvaa toimintaa varten on jo etukäteen kerätty rahat ydinsähkön tuottajilta. Varojen säilyttämistä varten on perustettu valtion ydinjätehuoltorahasto, jonka rahoja voidaan käyttää siinä tapauksessa, että voimayhtiöt eivät ole kykeneväisiä suoriutumaan velvoitteistaan. Muussa tapauksessa rahasto palauttaa varoja velvollisille sitä mukaa kuin jätehuoltotoimenpiteitä on toteutettu. Rahaa on kerätty pian jo kaksi miljardia euroa, joten ei ole ollenkaan samantekevää, kuinka oikeellinen tuo summa lopulta on todellisiin tuleviin kustannuksiin nähden. Yhteiskunnan ja yleensä kaikkien tahojen etu on, että rahat riittävät ja toiminta muutenkin on luotettavaa. Voimayhtiöiden kannalta toisaalta olisi oleellista, ettei rahaston koko ole tarpeettoman paljon ylimitoitettu.

Useiden tutkimusten [Flyvbjerg] mukaan suuret projektit yleisesti epäonnistuvat. Ydinjätehuoltoon liittyy sinällään monia kustannusylityksiä ruokkivia epävarmuuksia. Esimerkiksi Posivan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta vastaavan kaltaista kokonaisprojektia ei ole missään tällaisenaan toteutettu. Projektin aikajänne on niin poikkeuksellisen pitkä, että oikeampaa olisi puhua prosessista. Lisäksi poliittisten ja yhteiskunnallisten tekijöiden muodostamat riskit ovat melko keskeisessä asemassa. Tutkimuksissa mukana olevat projektit ovat kuitenkin suurimmaksi osaksi julkisen sektorin infrastruktuurihankkeita. Tällaisissa hankkeissa on usein hyödyllistä aluksi saada kustannukset näyttämään mahdollisimman pieniltä, jotta projekti ylipäänsä toteutetaan. Jos kuitenkin alkuperäinen kustannusarvio on laadittu toisesta näkökulmasta eli se esimerkiksi toimii lopullisen urakkatarjouksen pohjana, niin tällaisissa tapauksissa ylityksiä tapahtuu käytännössä harvemmin. Tästä lähtökohdasta on myös ydinjätehuollon kulujen arvioinnissa lähdetty, sillä kustannuserät näyttäisivät pääsääntöisesti olevan laskettuja hyvin ”varman päälle”.

Nykyisin Suomessa käytetään tavanomaista determinististä laskentamenetelmää, jossa tekniset asiantuntijat ovat arvioineet jokaiselle kustannuserälle arvon ja tälle epävarmuuskertoimen, joka tyypillisesti on 1,10–1,20. Toteutuneitten osaprojektien kustannukset ovat tähän mennessä osuneet hyvin oikeaan tai jopa alle budjetoidun niiden muuttamisen osaprojektien osalta, joita on tehty. Kuitenkin suunnitelmien osalta on tapahtunut muutoksia, joista ehkä merkittävin vaikutus rahastomaksuihin ja jopa koko yhtiön tulokseen aiheutui vuonna 2006. Silloin huomattiin, että on mahdollista, että loppusijoitustilojen täyttö tehdään aiempaa selvästi kalliimmalla täyteaineella. Tällaisten seikkojen aiheuttama muutos kokonaismenoihin olisi hyödyllistä kyetä ennakoimaan mahdollisimman hyvin etukäteen.

Tavanomaisen kustannusarvion lisäksi on Ruotsissa sovellettu vuodesta 1996 lähtien nettelyä, jossa suurissa ryhmissä arvioidaan mahdollisia riskejä ns. Lichtenbergin mallin mukaisesti. Ryhmätyönä kustannuserille saatuja todennäköisyysjakauksia ajetaan Monte Carlo-simuloinnilla, jotta saadaan kokonaiskustannukselle arvio.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) hyväksyy vuotuisen kustannusarvion eli ns. jätehuoltokaavion käytännössä VTT:n ja STUK:n lausuntojen perusteella. Jossain vaiheessa

VTT:n taholta on esitetty todennäköisyyspohjaisten menetelmien tutkimisen hyötyjä. Jonkin verran näitä on kokeiltukin VTT:n ja Fortumin toimesta, mutta laskenta on ollut hyvin karkeaa kokeilua vailla varsinaista riskianalyysia [Forsström 2006].

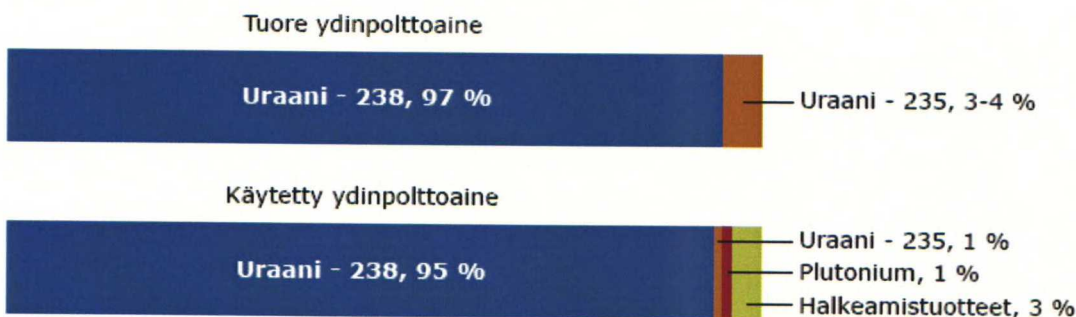
Tässä työssä tutkitaan juuri todennäköisyyspohjaisia riskinhallintamenetelmiä kustannus-arvioihin, erityisesti ydinjätehuollon kustannuksiin, liittyen. Tarkoituksena on laatia varsin yleiskäyttöinen arviointiproseduuri tällaiseen käyttöön.

Taloustieteessä verrattuna luonnontieteisiin on hyvin vähän luonnonlakeja ja yleispäteviä kaavoja. Puhdas laskenta antaa siksi usein hyvin vähän ja alkuarvojen merkitys entisestään korostuu. Tästä syystä työssä on annettu erityisen suuri painoarvo juuri näiden alkuarvojen tutkimiselle eli itse koko jätehuolto-prosessin ja sen kustannuserien yleiselle teknistaloudelliselle pohdiskelulle.

2 YDINJÄTEHUOLLON TOTEUTUKSESTA YLEISESTI

Ydinjätehuolto pitää sisällään kaiken ydinvoimalan tuottaman radioaktiivisen materiaalin käsittelemisen ja turvalliseen säilytykseen saattamisen. Materiaali voidaan jakaa käytettyyn polttoaineeseen, erilaiseen matala- tai keskiaktiiviseen voimalaitosjätteeseen ja voimalan käytöstäpoistovaiheessa syntyviin purkujätteisiin.

Valtaosa aktiivisuudesta ja myös kustannuksista keskittyy käytettyyn polttoaineeseen. Tavallisten kevytvesireaktorioiden polttoaine (kaikki Suomessa ja lähes kaikki käytetty polttoaine maailmalla) on zirkonium-metalliseoksesta tehtyihin suojakuoriin sijoitettuja uraanidioksidipellettejä. Polttoaine on tyypillisesti väkevöity n. 3-5 %:iin halkeavan U-235:n isotoopin suhteen. Energiatuotannon aikana siihen kertyy kuvan 1 mukaisesti uraanin halkeamistuotteita ja toisaalta uraania raskaampia aineita, kuten plutoniumia, jotka yleensä ovat radioaktiivisia laajasti vaihtelevilla puoliintumisaajoilla. Pitkäaikaisturvallisuutta parantaa huomattavasti se, että suurin osa halkeamistuotteista on hyvin lyhytikäisiä ja plutonium varsin kelpaamatonta asekäyttöön.



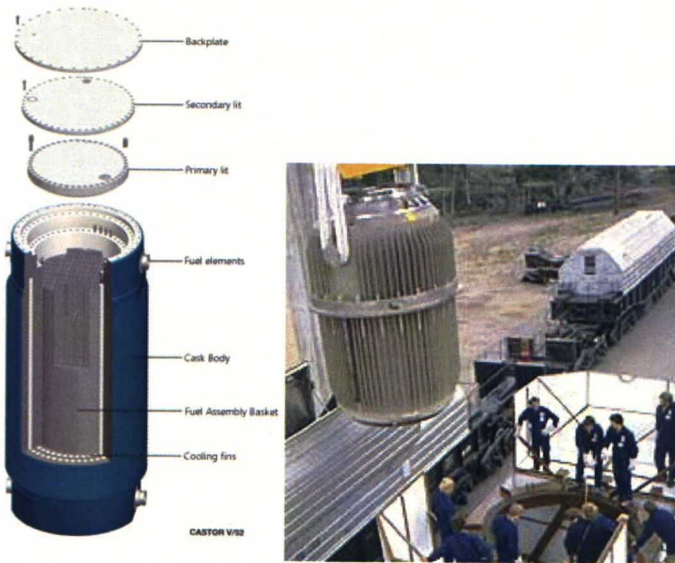
Tuore ydinpolttoaine sisältää pelkästään uraania. Käytön aikana uraanista syntyy radioaktiivisia halkeamistuotteita sekä plutoniumia ja muita transuraaneja.

Kuva 1: Käytetyn ydinpolttoaineen koostumus

Reaktorista poiston jälkeen polttoaine-elementit varastoidaan yleensä reaktorin vieressä oleviin jäähdytyslaitteisiin, josta ne muutaman vuoden päästä siirretään erilliseen väli-

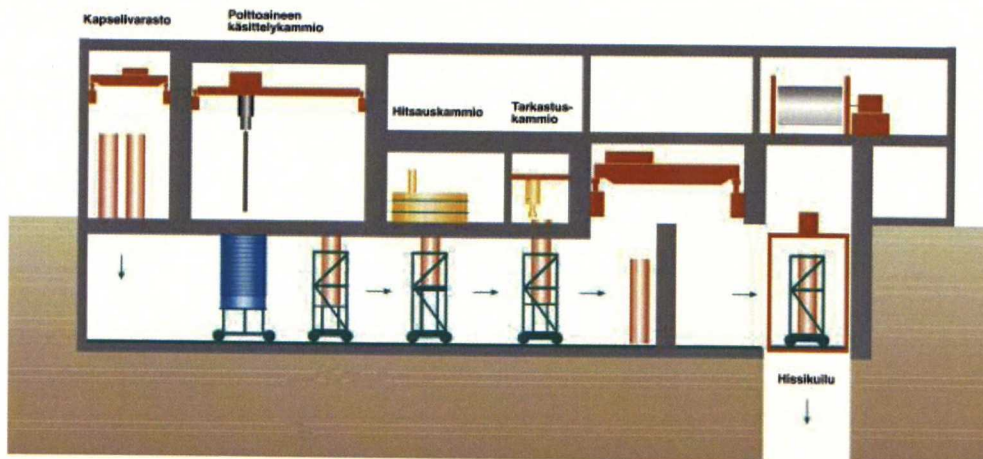
rastoon. Esimerkiksi Yhdysvalloissa varastointi toteutetaan ns. kuivana erillisissä kapsleissa, mutta Suomessa kuten yleensäkin Euroopassa tapana on käyttää vesialtaita, joissa vesi toimii sekä jäähdytteenä että säteilysuojana.

Kuljetukset loppusijoituspaikkaan voidaan toteuttaa sekä kokonaan kumipyörillä että osittain rautatiekuljetuksena tai laivalla. Esimerkiksi Ruotsissa kuljetuksia varten on rakennettu tarkoitukseen erityisesti suunniteltu laiva. Suomessa todennäköisin vaihtoehto on rekkakuljetus. Kuljetusastiana käytetään vakavimmatkin liikenneonnettomuudet kestävää kuvan 2 esittämää Castor- tyyppistä kuljetuskapseliä.



Kuva 2: Kuljetuskapseli

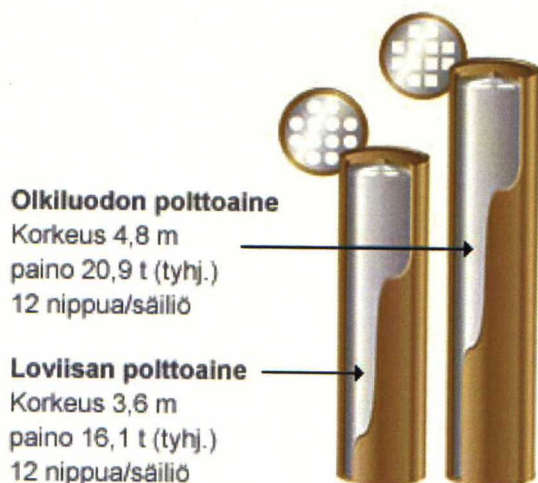
Kun käytetty polttoaine saapuu loppusijoituspaikkakunnalle, se siirretään kuljetuskapsleista loppusijoituskapseliin. Tätä kapselointiprosessia esittää kuva 3. Elementit kuivataan ensin puhaltimella, koska ne ovat olleet vielä kuljetussäiliöissäkin vedessä. Tämän jälkeen polttoaine-elementit siirretään yksi kerrallaan loppusijoituskapseliin. Loppusijoituskapselit, esitettyinä kuvissa 4 ja 5 ovat sisältä valurautaisia ja kuparikuorella päällystettyjä. Seuraavassa vaiheessa kapselin kansi hitsataan kiinni tyhjiökammiossa. Hitsaustapana käytetään näillä näkymin koneellisesti suoritettua ja kameroilla valvottua elektronisuihkuhitsausta. Työn jälki tarkastetaan ensin visuaalisesti ja sitten vielä erillisessä tarkastuskammiossa ultraääni- ja röntgenlaitteilla. Tämän jälkeen kapseli siirretään hissillä maanalaiseen loppusijoitustilaan.



Kuva 3: Kapselointilaitoksen periaatekuva



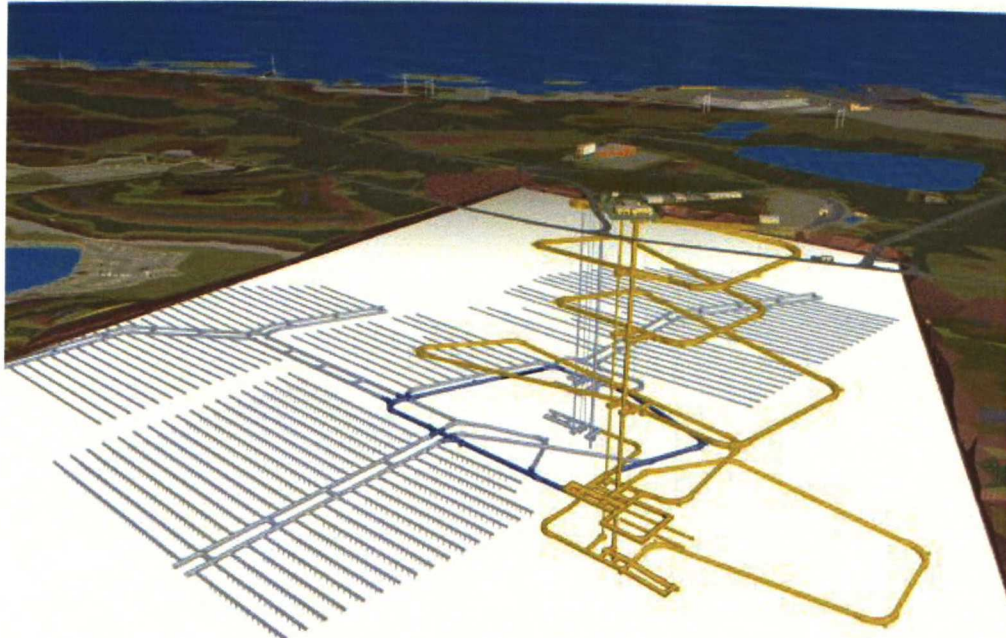
Kuva 4: Olkiluodon kapselin osat



Kuva 5: Kapselien tietoja

Kuvasta 5 huomataan, että kapselien halkaisija on tarkoitettu samaksi polttoainetyypistä riippumatta. Nykyisillä yksiköillä myös sijoitettavien nippujen määrä on sama, kapselien pituus ja reikien muoto valuraudassa ainoastaan eroavat toisistaan.

Loppusijoitustila käsittää ajotunnelin 520 metrin syvyyteen. Kapselien sijoitustunnelit ja niitä yhdistävät keskustunnelit ovat kuitenkin pääosin 420 metrin syvyydessä. Kapselit sijoitetaan loppusijoitustunnelien lattiaan työstettäviin reikiin ja reiät tiivistetään bentoniittisavella. Tunnelit täytetään saven ja murskeen sekoituksella. Eri kombinaatioita tähän tosin vielä tutkitaan.



Kuva 6: Loppusijoitustunnelit



Kuva 7: Maanpäälliset rakennukset

Voimalaitoksen käytön yhteydessä syntyy lähinnä huoltotöiden aikana erilaista matala- ja keskiaktiivista jätettä. Matala-aktiivinen aine koostuu lähinnä käytetyistä työhaalareista ja suojakäsineistä yms.. Ne pakataan tynnyreihin ja säilötään n. 100 metrin syvyyteen voimalaitosalueen kallioperään. Suojarakennuksen sisäiset pesuvedet ja mahdollisesti vuotaneet prosessivedet kootaan keskitetysti säiliöihin. Nesteiden määrää pienennetään haihdutuksella ja erityisesti on mahdollista erottaa oleelliset radioisotoopit cesium, strontium ja koboltti, jolloin täysin puhdistettu vesi voidaan laskea mereen. Joka tapauksessa jäännösneste kiinteytetään betoniin ja sijoitetaan keskiaktiivisena jätteenä myös kalliovarastoon. Toinen, ehkä vielä suurempi keskiaktiivisen jätteen syntykohde ovat primääripiirin ja muiden prosessivesien puhdistuksessa käytetyt ioninvaihtohartsit. Nekin betonoidaan tai bitumoidaan ja sijoitetaan Suomessa voimalaitosalueen alla olevaan loppusijoitusluolaan.

Voimalaitosten käytöstäpoiston kustannuksissa huomioidaan varautumislaskuissa vain mahdollisten radioaktiivisten osien purku. Näihin kuuluu mm. primääripiirin komponentit, säteilysuojat, erilaiset vesialtaat ja jotkut apurakennuksissa olevat järjestelmät. Aktivoituneet osat pitävät sisällään lähinnä reaktorin paineastian, sen sisäpuoliset osat, säteilysuojan ja biologisen suojan. Kaikki muut, kuten komponenttien ympärillä oleva betoni, kuuluu kontaminoituneeseen materiaaliin. Konventionaalisten osien kuten turbiini- ja sähköosien ja niiden rakennusten purkua ei käsitellä varautumislaskelmissa. Loviisassa purku toteutetaan lähes välittömästi voimalaitoksen sulkemisen jälkeen, mutta Olkiluodossa suunnitelmissa on purkaa nykyiset laitokset viivästetysti ja Olkiluoto 3 laitosyksikkö välittömästi samaan aikaan vanhojen yksiköiden kanssa.

3

YLEISTÄ KUSTANNUS- JA TODENNÄKÖISYYSLASKENNAN TEORIAA

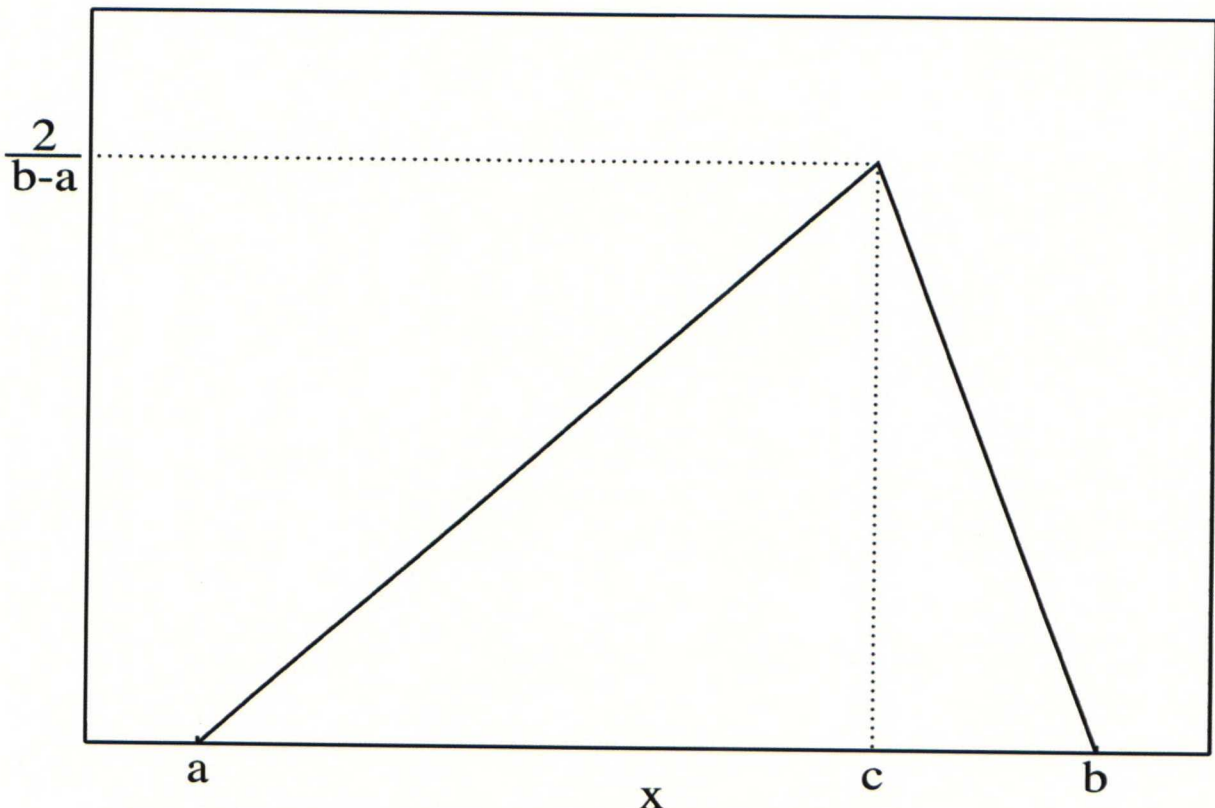
Tässä kappaleessa esitellään muutamia keskeisiä asioita todennäköisyyslaskennasta ja yleisestä talousmatematiikastakin, joita tässä työssä tullaan jatkossa käyttämään.

Diskonttauksella tarkoitetaan tulevaisuudessa tapahtuvan tuoton tai kustannuksen muuttamista nykypäivän arvoon. Keskeisenä tekijänä on käytettävä diskonttokorko, joka riippuu pääoman tuottotavoitteesta tai esimerkiksi rahastotalletuksen korosta.

Diskonttokertoimen kaava T ajanjakson kuluttua olevalle arvolle korolla r on:

$$P(T) = \frac{1}{(1+r)^T}$$

Todennäköisyyslaskennassa kustannuserään liittyy riski, jolla puolestaan on vaikutus ja esiintymistodennäköisyys. Olennaista on määrittää todennäköisyysjakauma kuluerille. Näiden jakaumafunktioiden lisäksi on hyödyllistä tietää kustannuserien väliset riippuvuudet.



Kuva 8: Esimerkki jakaumafunktiosta, kolmiojakauma

Jakaumia on erilaisia, esim. normaali-, kolmio- ja tasajakauma. Kolmio- tai tasajakauma on laskennallisesti yksinkertaisimpia muodostaa ainakin tämänkaltaisessa kustannusten arvioimisessa. Niiden rakenne on myös loogista ymmärtää, kun taas useimpiin muihin jakautumiin liittyy erilaisia vähemmän ymmärrettäviä muotoparametreja. Joka tapauksessa, jos kolmiojakaumia summaa yhteen, alkaa terävät muodot pyöristyä ja kokonaiskustannuksen muoto muistuttaa normaalijakaumaa. Tämä ilmiö on nimeltään keskeinen raja-arvolause.

Odotusarvo

$$E(x) = \sum_{i=1}^m x_i p_i = \bar{x},$$

jossa x on itse satunnaismuuttuja, kuvaa jakauman painopistettä. Esim. kolmiojakaumalle odotusarvo on yksinkertaisesti

$$E(x) = \frac{a + b + c}{3}.$$

Keskihajonta kuvaa todennäköisintä poikkeamaa odotusarvosta. Sen etuna on helppo tulkittavuus, koska sen asteikko vastaa mittausten asteikkoa. Varianssi puolestaan on keskihajonnan neliö ja sen hyödyllinen ominaisuus on, että kahden riippumattoman satunnaismuuttujan summan varianssi on niiden varianssien summa. Koska epävarmuuksien yhteenlaskussa siis käytetään tätä hajontojen neliötä, pienet epävarmuudet käytännössä häviävät. Tämän vuoksi kaikkein tärkeintä on painottua raha-arvoltaan suuren hajonnan omaavien erien hyvään analyysiin.

Keskihajonta saadaan ottamalla neliöjuuri varianssista:

$$\sigma_x = \sqrt{E[(x - \bar{x})^2]}.$$

Varianssi on odotusarvo satunnaismuuttujan neliöstä vähennettynä odotusarvon neliöllä:

$$\text{var}(x) = E[(x - \bar{x})^2] = E(x^2) - \bar{x}^2$$

Ongelmana on vain miten saada neliö satunnaismuuttujasta, jos se on esim. jokin mielivaltainen jakauma. Jakauman funktio täytyy siis tietää. Kolmiojakauman tapauksessa voidaan varianssille kuitenkin määrittää kaava:

$$\text{var}(x) = \frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}.$$

Korrelaatiolla tarkoitetaan kahden muuttujan välistä riippuvuutta. Korrelaatiokertoimen arvo vaihtelee välillä -1 ja 1. Korrelaatioiden määrittämiseen järkevin menetelmä lienee ns. yhteisten faktorien menetelmä eli kustannuserien riskien arvioinnin yhteydessä arvioidaan, mistä osatekijöistä erä muodostuu. Esimerkiksi työntekijöiden palkkoja sisältyy moneen erään ja siten niillä saattaa olla vahvakin korrelaatio keskenään.

Kovarianssin kaava on:

$$\text{cov}(x_1, x_2) = E(x_1 x_2) - \bar{x}_1 \bar{x}_2. \text{ [Luenberger 1998]}$$

Se on siis jakaumien tulon odotusarvo vähennettynä odotusarvojen tulolla. Kovarianssin itseisarvo on aina pienempi tai yhtä suuri kuin varianssien tulo

$$|\sigma_{12}| \leq \sigma_1 \sigma_2.$$

Korrelaatiokerroin voidaan saada kovarianssista ja variansseista seuraavalla kaavalla:

$$\rho_{12} = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \sigma_2}.$$

Summan varianssi on:

$$\sigma^2 = \sigma_x^2 + \sigma_{xy} + \sigma_y^2.$$

Mikäli kaksi satunnaismuuttujaa ovat korreloimattomia, on summan varianssi luonnollisesti vain varianssien summa:

$$\sigma^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2.$$

Tämä aiheuttaa sen, että kun riippumattomien muuttujien keskihajontoja lasketaan yhteen, keskihajonta kokonaisuudessaan pienenee. Esim. $\sigma = \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{200} \approx 14,1$ kun taas $\sqrt{10^2} + \sqrt{10^2} = 20$.

Jakaumien yhteenlasku voidaan tehdä analyttisesti eli summaamalla jakaumien todennäköisimmät arvot ja varianssit, jolloin saadaan kokonaiskustannukselle todennäköisin arvo ja varianssi. Toinen vaihtoehto on Monte Carlo-simulointi. Siinä arvotaan kustakin jakaumafunktion alueelta yksi arvo, joka tietysti todennäköisesti on lähempänä todennäköisintä arvoa kuin ääriarvoja. Kaikki arvot luvut summataan yhteen, jolloin saadaan yksi mahdollinen kokonaiskustannus. Tyypillisesti lasketaan kuitenkin monta, usein jopa tuhansia kierroksia, jolloin vastaavasti saadaan tuhansia mahdollisia kokonaiskustannuksia. Suurempi kierrosmäärä tuo varmemmin esille myös epätodennäköisemmät tapahtumaketjut. Kun nämä laitetaan järjestykseen, saadaan selville esim. millä todennäköisyydellä budjettiin varatut rahat riittävät.

[David Vose 1996]

4 NYKYINEN LASKENTAKÄYTÄNTÖ

Nykyisin Suomessa sovelletaan ydinjätehuollon kustannuslaskennassa pelkästään tavanomaista determinististä käytäntöä. Jokaiselle kustannuserälle määritellään siis arvo ja epävarmuuskerroin, joka on tyypillisimmin 1,20. Kaikki kulut ja jätemäärät on koottu ns. jätehuoltokaavioon, joka toimii pohjana rahastoon suoritettaville vuosimaksuille. Jätehuoltokaavio on esitetty sekä alla että liitteenä 1, koska siihen tutustuminen on työn seuraamisen kannalta jatkossa välttämätöntä.

Varautumislaskujen pohjana on ajattelutapa, jossa oletetaan kaikkien ydinvoimalaitosten lopettavan toimintansa vuoden loppuun mennessä. Tältä pohjalta lähdetään laskemaan tähän mennessä kertyneen radioaktiivisen materiaalin käsittelykustannuksia. Kaiken todennäköisyyden mukaan ydinvoimalaitostoiminta maassamme kuitenkin jatkuu vielä nykyisten laitosten ja ainakin OL-3:n käyttöänsä loppuun. Tämä on siten seikka, joka nykyi-

sessä varautumisessa tuo ylimääräistä kustannusta ja siten toisaalta luo ylimääräistä varmuutta tulevaisuuden varalle.

Jätehuoltokaavio on tähän mennessä päivitetty perusteellisemmin kerran kolmessa vuodessa teknisten suunnitelmien päivittämisen yhteydessä. Toki, jos selkeitä muutoksia ilmenee, niin kustannuspäivitykset on niiden osalta tehty viivyttämättä. Yleensä kuitenkin vuosittain osa kustannuseristä päivitetään vain kertomalla ne kustannustason kasvulla, joka viimevuosina on ollut n. 4 %. Tämä prosentti muodostetaan pääosin rakennuskustannusindeksin ja työvoimakustannusindeksin muutoksen perusteella.

Suomalaisessa käytännössä ei rahaeriä diskontata, mutta toisaalta keskimäärin korkotuotot ovat tyypillisesti olleet samaa suuruusluokkaa kuin kustannustason muutos. Diskonttaamatta jättäminen siis omalla tavallaan yksinkertaistaa laskentaa. Toisaalta jatkossa, jos varautumislaskelmien perusoletuksen mukaan oletetaan, että voimayhtiöitäkään ei ole olemassa, on korkotuottokin käytännössä nykyistä parempi. Täten diskonttaamatta jättäminen on sinällään myös huomattava varmuuslisä.

Jos käy niin, että kustannukset alittuvat suunnitelmien muuttumisen seurauksena, pienentää se vastuumäärää ja alentaa vastaavasti seuraavan vuoden vuosimaksua. Jos yhden jätehuoltovelvollisen kustannukset alittuvat niin paljon, että rahastomäärä muodostuu vastuummaa suuremmaksi, niin silloin rahaa palautetaan. Näin saattaa käydä, kun uusia laitossyksiköitä otetaan käyttöön ja niiden vastuulle tulee osuus monista kiinteistä kustannuksista. Tosin ainakin Posivan kiinteistä kustannuksista uudet laitossyksiköt tulevat ottamaan osansa porrastetusti 25 vuoden kuluessa.

Aivan oma käytäntönsä on kustannusten sisällyttäminen yhtiöiden tilinpäätökseen. Tässä työssä ei kuitenkaan tarkemmin perehdytä näihin IFRS -laskennan yksityiskohtiin vaan keskitytään jätehuoltokaavion arvioimiseen.

Ydinjätehuoltokaavion kokoamisessa päävastuu on Posivalla. Kustannustiedot ovat kuitenkin peräisin paljolti voimayhtiöiden ja eri konsulttien tekemistä teknisistä suunnitelmista ja kustannusarvioraporteista. Raporteista julkaistaan uusia versioita tyypillisesti vähintään kolmen vuoden välein. TEM hyväksyy uuden kaavion STUK:n ja VTT:n lausuntojen pohjalta. Käytännössä VTT:llä on keskeinen rooli ja sillä onkin useita henkilöitä tarkastustyössä vuosittain.

5.1	Valvottuun säilytykseen saattaminen						13,5
5.1.1	Suunnittelu	1,2	1,2	1,15	1,3		1,3
5.1.2	Valvottuun säilytykseen saattamisen valmistelu	7,2	7,2	1,15	8,3		8,3
5.1.3	Sisäosien ja sydänrak. paloitt. ja pakkaam.	0,7	0,7	1,15	0,8		0,8
5.1.4	Varaus reaktoripaineastian täyteaineeille	0,3	0,3	1,15	0,4		0,4
5.1.5	Varaus paineastiioihin mahtumattomille sisäosille	2,3	2,3	1,15	2,6		2,6
5.2	Oikuluodon voimalaitoksen valvottu säilytys						6,0
5.2.1	Valvottu säilytys 2009 - 2038	0,17	30	5,2	5,2	1,15	6,0
5.3	Aktiiviteiden laitososien purku						31,0
5.3.1	Projektoiminta ja käyttö	7,0	7,0	1,15	8,1		8,1
5.3.2	Paineastioiden irrotus ja siirto pihalle	2,5	2,5	1,15	2,9		2,9
5.3.3	Biologisen suojan ja lämmöneristeytyksen purku	6,3	6,3	1,15	7,3		7,3
5.3.4	Pakkaukset	1,8	1,8	1,15	2,1		2,1
5.3.5	Varaus paloittelematta jättämisen suunn. tarkentamiselle	9,2	9,2	1,15	10,6		10,6

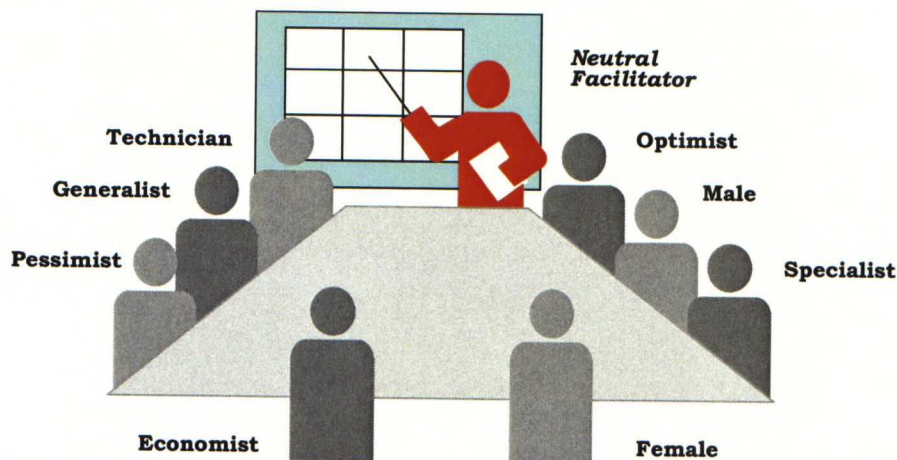
	Yksikkö kustann.	Lkm	Kustannus arvio	Kustannus arvio - toteutuneet löpävarn.	toteutuneet löpävarn. kerroin	Kust. + epävarn.	Yht.	Kiinteä osuus	Muuttuva osuus	TVO:n osuus	Fortumin osuus
6 TUTKIMUS & KEHITYS & HALLINTO							Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.
								119,47		71,68	47,79
6.1 T&K ja HALLINTO								119,5		71,7	47,8
6.1.4 Vuodet 2009 - 2012	9,39	4	37,5	37,5	1,20	45,1		45,1		27,0	18,0
6.1.5 T&K 2013 - 2040			9,6	9,6	1,20	11,5		11,5		6,9	4,6
6.1.6 Varaus T&K:n kust. nousulle vuosille 2009 - 2012			33,2	33,2	1,00	33,2		33,2		19,9	13,3
6.1.7 Hallinto 2013 - 2020	2,41	8	19,3	19,3	1,20	23,1		23,1		13,9	9,3
6.1.8 Hallinto 2021 - 2044	0,23	24	5,5	5,5	1,20	6,6		6,6		4,0	2,6
							Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.
								75,49	68,57	77,93	66,13
7 MUUT KULUT:											
7.1 Viranomaiskulut								1,0	41,3	24,2	18,1
7.1.3 Valvontakustannukset TVO 2009 - 2044			20,5	20,5	1,15	23,6			23,6	23,6	
7.1.4 Valvontakustannukset Fortum 2009 - 2044			15,4	15,4	1,15	17,7			17,7		17,7
7.1.5 Valvomaksu 2044			0,8	0,8	1,20	1,0		1,0		0,6	0,4
7.2 Verot ja vuokrat								74,5	27,3	53,7	48,0
7.2.1 Kiinteistöverot			73,9	73,9	1,00	73,9		73,9		44,3	29,6
7.2.2 Kiinteistöverot TVO 2021 - 2037			9,0	9,0	1,00	9,0			9,0	9,0	
7.2.2 Kiinteistöverot Fortum 2021 - 2015			18,2	18,2	1,00	18,2			18,2		18,2
7.2.3 Maanvuokra	0,02	29	0,6	0,6	1,00	0,6		0,6		0,3	0,2
							Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.
										1083,95	827,66
YHTEENSA							Yht.	Yht.	Yht.	1083,95	827,66

5 UUDEN LASKENTATAVAN JA ARVIOINTIMENETTELYN KEHITTÄMINEN

5.1 Ruotsalainen laskentamenettely

Ruotsin SKB:ssä käytettiin vuoteen 1995 saakka tavanomaista determinististä kustannuslaskentaa. Vuonna 1996 otettiin käyttöön uusi menettely, "den successiva principen", jonka sanotaan erityisesti soveltuvan projektien kustannusten analysointiin aikaisessa vaiheessa. Sen on kehittänyt 70-luvulla professori Steen Lichtenberg Tanskan Teknillisestä Yliopistosta ja sitä on sittemmin käytetty monissa teollisissa yhteyksissä. Menetelmään tehtiin joitain muutoksia juuri ydinjätehuollon kustannusten laskentaa varten.

SKB:n menetelmässä kokonaiskustannus jaetaan ensin kustannuseriin (40 kpl). Näille saadaan perusarvot perinteisellä menetelmällä tehdystä kustannusarviosta, jossa voidaan Ruotsissa käyttää diskontattuja arvoja. Sitten näille jokaiselle määritellään mahdolliset vaihteluvälit. Nämä vaihteluvälit valitaan erityisessä yhteistyöryhmässä, jossa on erikäisiä ja eri aloilta olevia asiantuntijoita, jotta systemaattista virhettä ei tulisi alkuarvoihin. Lichtenbergin mukaan ihanneryhmä pitää sisällään myös täysin ulkopuolisia ja jäsenet haetaan ryhmään niin, että jokainen vastaa taustaltaan tiettyä roolia tai ominaisuutta (esim. spesialisti, optimisti, mies, nainen) SKB:n vuoden 2006 ryhmässä on 16 jäsentä.



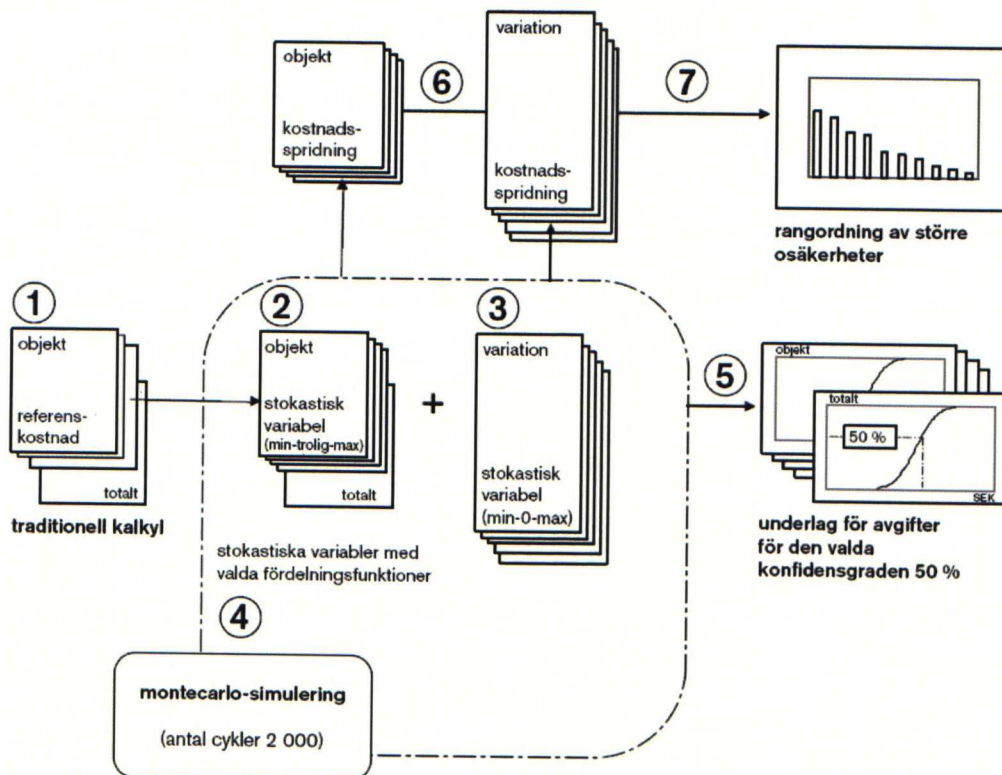
Kuva 9: Lichtenbergin menetelmässä keskeistä on suuri arviointiryhmä, jossa ihmisillä on eri roolit [Lichtenberg]

Ryhmä lisäksi määrittää prosenttivälit ns. yleisille vaihtelutekijöille (50 kpl, esim. aikataulumuutokset, kapseleiden määrän muutokset), joilla perusarvo on 0 ja useimmilla tietty negatiivinen ja positiivinen prosentuaalinen vaihteluväli.

Laskennassa käytetään Monte Carlo-simulointia eli menettelyä, jossa muodostetuista todennäköisyysjakaumista satunnaisotannan avulla arvotaan yksi arvo ja ne summataan yhteen kokonaiskustannukseksi. Simulointia toistetaan satoja, jopa tuhansia kertoja (ruotsalaisilla 2000 kierrosta), jolloin saadaan vastaava määrä erilaisia kokonaiskustannusarvioita. Nämä lajitellaan S-käyräksi sen mukaan kuinka suuri osuus arvioista on alle tietyn kustannustason. Parhaaksi arvioksi valitaan yleensä se kustannusarvio, jolla on 50 % to-

dennäköisyys, että kustannukset ovat sitä pienemmät. Ruotsalaiset laskevat lisäksi myös referenssikustannuksen perinteisellä menetelmällä, johon todennäköisyyspohjaista arvoa voidaan verrata.

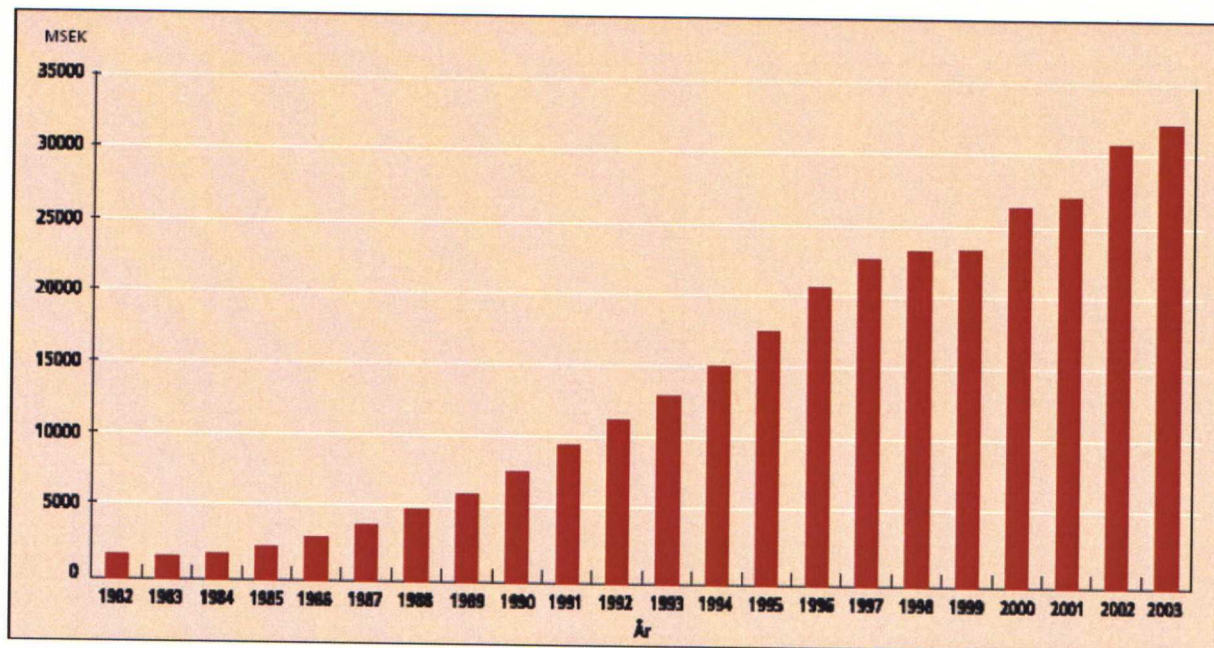
Metodi antaa myös arvojärjestyksen suurimmista epävarmuuksista (vaiheet 6 ja 7 kuvassa 10). Näitä epävarmuuksia voidaan edelleen pilkkoa pienempiin osiin ja tutkia ryhmässä jolloin laskenta kehittyy. Tästä tulee periaatteen nimitys "successiva" =vähittäinen, asteittainen.



Figur 4-1. Schematisk beskrivning av kalkylstegen (siffror hänvisar till beskrivningen i texten).

Kuva 10: Kaavio ruotsalaisten laskentakäytännöstä

Kuvassa 10 on esitetty SKB:n laskentakäytäntöä, jossa kustannuserät on muutettu stokastisiksi muuttujiksi (todennäköisyysjakauma), ja lisäksi mukana simulaatiossa on yleisiä vaihtelutekijöitä. Kokonaiskustannus valitulla varmuustasolla saadaan kertymäjakaumasta ja lisäksi suurimman hajonnan omaavat tekijät laitetaan järjestykseen.



Source: The Board of the Swedish Nuclear Waste Fund: Annual report 2003

Kuva 11: Ruotsin ydinjätehuoltorahaston kehitys

Kuvasta 11 nähdään, että Ruotsin rahaston koko pysyi lähes paikallaan laskentakäytännön muutosta seuranneina vuosina. Muutkin asiat saattoivat vaikuttaa kuten mahdolliset investoinnit Forsmarkissa. Joka tapauksessa sen jälkeen rahaston koko on kasvanut aikaisempaan tahtiin.

5.2 VTT:llä ja Fortumilla tehdyt laskelmat

Sekä VTT:llä että Fortumilla on aiemmin kokeiltu Monte Carlo-analyysia ydinjätehuollon kustannuksiin, mutta varsinaista riskianalyysia käsittelyn yhteydessä ei ole tehty. Monte Carlohan ei sinällään tuo juuri uutta tietoa vaan on lähinnä summaus- ja havainnollistamismenetelmä.

Alla on esitetty taulukkoina VTT:n raportista poimittuina SKB:n arviointityön tulosten suomennoksia. [Forsström 2006]

Taulukko 2: Yleisten epävarmuutta aiheuttavien syiden ryhmät ja niiden kolmiojakauman pisteiden arvot Ruotsissa. * tarkoittaa diskontattua määrää. Mkr tarkoittaa miljoonaa Ruotsin vuoden 2005 kruunua.

Ryhmä	Yksikkö	Min	Todennäköinen	Max
A. Poliitiikka, talous yhteiskunta*	Mkr	-850	+187	+1500
B. SKI/SSI, organisaatio ja johtaminen	%	-50	-3	+50
C. Suhteet muihin toimijoihin	%	-80	-2	+50

D. Kansainvälinen tilanne*	Mkr	-855	+105	+1700
E. Reaalipalkka	%	-50	+1	+43
F. Tuottavuus*	%	-30	+1	+50
G1. Käyttöjakson pituus*	Mkr	-100	-74	+54
G2. Muu aikataulumuutos*	Mkr	-140	0	+140
H. Tekniikka ja suunnittelu*	Mkr	-300	+158	+1500
I. Rahastoon liittyvät tekijät	Mkr	-200	+31	+600
L. Jäteluokittelu	%	-80	+3	+50
M. Suunnittelemattomat tapahtumat*	Mkr	-400	+190	+1700
N. Reaalikoron epävarmuus*	Mkr	-274	+1	+563
X. Perusdatan epävarmuus*	Mkr	-200	0	+200
Y. Analyysitekniikan epävarmuus*	Mkr	-600	-105	+300

Taulukko 3: Epävarmuutta aiheuttavat kansainväliset tekijät.

Epävarmuuden syy	Perustilanneoletukset	Mahdollisuudet	Riskit
D KANSAINVÄLISET TEKIJÄT – Jätekäytännöt ja muut kv. säännökset – EU vaikutus (raportointi, vaatimuksen, lait, päätökset ym.) – Globalisaatio ja kv. stabiilius – Tapahtumat Ruotsin ulkopuolella – Kv. kokemukset ja käytännöt – Lisääntyvät vaatimukset jätevalvonnassa	– Perusdata ilman EU-vaikutusta – Kv. yhteistyö ja info kuten nyt – Nykyiset vaatimukset jätehuollossa – Nykyinen kv. tilanne – Ei huomioida ulkomaisia mahdollisia tapahtumia	– EU-vaikutus, pienemmät vaatimukset – Kv. harmonisointi voi merkitä vähempiä vaatimuksia – Kokemukset muista käytöstä-poistoista	– EU-vaikutus, kovemmat vaatimukset – Säännökset ydinaine-valvonnasta viivästyvät – Tapahtumat muissa maissa – Kv. harmonisointi voi kiristää vaatimuksia – Kokemukset muista käytöstä-poistoista

Taulukko 4: Aikataulumuutos korjaustekijänä.

Epävarmuuden syy	Perustilanneoletukset	Mahdollisuudet	Riskit
G1 ja G2 Aikataulut – Käyttöajan pituus	Nykyisiä voimaloita käytetään väh. 25 vuotta, keskim. 29 vuotta.	– Aikaistaminen – Ajoitus-	– Myöhentäminen – Resurssivajeesta

<ul style="list-style-type: none"> – Clab:n ja muiden laitteistojen myöhästyminen – Jätteen loppusijoituspaikka ja -aikataulu – Resurssitoimitus-katkokset – Ylläpitojakson pituus – Loppusijoituksen nopeus – Aikaistettu/ myöhennetty käytöstäpoisto – Aikataulu-muutokset 	<p>Sulkemisen jälkeen aikaa kuluu seuraavasti:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 2 v. pa:n pois-kuljetukseen – Ylläpitojakso max 8 v. – Purkamisen valmistelu 3 v. – Purkaminen 4 v. <p>Jokainen vuosi 25 v. jälkeen tulkitaan kustannusneutraaliksi.</p> <p>Perussuunnitelmassa ohjelma loppuu 2048.</p> <p>Kustannukset vuosilta 2007–2048 huomioidaan.</p> <p>Kapselointi ja loppusijoitus toimivat jatkuvasti.</p> <p>Ei resurssivajeesta johtuvia viivästymisiä tai hinnannousuja.</p>	<p>muutokset</p> <ul style="list-style-type: none"> – Toinen purkutapa – Käyttö- ja ylläpito-periodi 	<p>johtuvat tekijät</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ajoitus-muutokset – Toinen purkutapa – Käyttö- ja ylläpito-periodi – Myöhästymiset, esim. Clab – Loppusijoituksen nopeus
---	--	--	--

Myös Fortumilla kesällä 2000 alustavasti laskettiin todennäköisyyspohjaisia laskelmia, mutta siinä riskiarvioinnin puutetta pidettiin suurimpana ongelmana raportin yhteenvedossa. Muistiossa oli 3 versiota, joista ensimmäisessä oli vaihteluvälin minimiriskinä 0 %, todennäköisimpänä 75 % epävarmuuskertoimesta ja maksimi arvona epävarmuuskertoimen suuruinen osa. Toisessa versiossa perusarvona pidettiin jätehuoltokaavion arvoa ilman epävarmuuskerrointa. Jokaisen kustannuserän riskinä oli epävarmuuskertoimen suuruinen osa, jolla oli tietty vaihteluväli ja tämä oli useimmiten arvioitu siten, että positiivinen prosenttiluku oli negatiivista suurempi. Kolmannessa versiossa oli vielä lisätty edelliseen joitain ylimääraisiä kustannuksia. Kuten jo lähtökohdista saattoi aavistaa kulut laskivat hieman ensimmäisessä versiossa suhteessa jätehuoltokaavioon, toisessa nousivat hieman arvoon 2888 Mmk (485,7 M€) ja kolmannessa nousivat vielä enemmän eli 3114 Mmk:aan (523,8 M€).

Näissä kokeiluissa jakauma on saatu siis käytännössä vain käyttämällä kaikille erille samaa, paljolti epävarmuuskertoimeen perustuvaa, arviota. Tuloksista voidaan päätellä, että Monte Carlo ei ole välttämätön osa laskennan kehittämisessä, enemmänkin vaikutusta on kunnollisella riskien (ja mahdollisuuksien) analyysillä. Laskennassa on mahdollista käyttää hyvin myös determinististä tapaa, jolloin riskianalyysin tuloksia sovelletaan vain itse kustannuserän ja epävarmuuskertoimen uudelleenarviointiin. Todennäköisyyspohjaisesti voidaan siis edetä joko Monte Carlolla tai summaamalla erät analyttisesti.

5.3 Riskianalyysimenettelyjen kirjallisuusselvitystä

Muiden maiden laskentamenetelmistä on vaikea löytää sen syvällisempää tietoa, mutta ilmeistä on, että suurimmassa osassa maista loppusijoitus suunnitelmat ovat vielä hyvin karkealla tasolla. Näin ollen myös varojen hankinta rahastoon, jos sellaista ylipäänsä on, perustuu vain karkeaan sähköntuotannosta perittävään vuosimaksuun.

Näyttäisi siltä, että riskianalyysiin ei lyhyehkön kirjallisuusselvityksen perusteella ole olemassa mitään sellaista normaaleista työtavoista poikkeavaa menetelmää, jolla riskit automaattisesti saisivat oikean lukuarvonsa. Käytännössä analyysi perustuu siis aina arvioihin, ihmisten kokemukseen ja näkemykseen sekä tilastotietoihin. RAND-säätiön julkaisemissa raporteissa Yhdysvaltain ilmavoimille ja muille liittovaltion organisaatiolle tehdyistä riskianalyyseistä [RAND 2006] on löydettävissä useita nimettyjä menetelmiä:

- Hyöty-kustannus (liiketoiminnassa)
- Asiantuntijan näkemys
- Vikapuu-analyysi
- Fokus-ryhmät
- Syy-analyysi (onnettomuustapauksissa ym.)
- Käytösmallinnus (esim. turvallisuusasioissa)
- Data-pohjaiset menetelmät (Tornado-kaavio)
- Integroitu menetelmä (monta menetelmää yhdessä)

Suurin osa menetelmistä ei ole kuitenkaan sopivia budjettiriskin analysointiin vaan enemmänkin kannattavuuslaskentaan, onnettomuusriskeihin tms..

Epävarmuuskertoimen määrittämiseen on yleisesti esitetty seuraavanlaisia menetelmiä:

- 1) Asiantuntijan näkemys
- 2) Yleinen ohjeisto
- 3) Simulointi (MC)
- 4) Parametrimallinnus (regressioanalyysi)
- 5) Vertailuluokkaennustaminen

Relevanteiksi ja käyttökelpoisiksi menetelmiksi jää siis vain suunnilleen seuraavat:

- asiantuntijan näkemys
- fokus-ryhmät
- Vertailuluokat (Historiallinen/Tilastot)
- Monte Carlo

5.4 Oma riskianalyysi- ja laskentamenettely

Edellä on esitetty Steen Lichtenbergin 1970-luvulla kehittämä ja siitä asti markkinoima menettely. Sen keskeisenä ideana on käytännössä muodostaa konsultin johtama fokusryhmä, joka koostuu yli kymmenestä hengestä sisältäen erilaisia persoonallisuuksia ja myös käsiteltävän teknistaloudellisen aihepiiriin täysin ulkopuolella olevia ihmisiä. Ongelmaksi muodostuu proseduurin kalleus ja hankaluus. Arviointityön voi kuvitella helpposti maksavan yli satatuhatta euroa. Nykyiseen verrattuna se kuluttaa huomattavasti enemmän henkilöstöresursseja sekä laskelman laatijalla, että sen lopulta arvioivalla vi-

ranomaisella. Ruotsille tällainen käytäntö ehkä juuri kannattaa, koska jätemäärät ovat moninkertaisia ja koko ydinjätehuolto kaikkine osa-alueineen ja kustannuslaskelmineen on hoidettu Ruotsissa keskitetysti SKB:n kautta. Suomen tapauksessa vastaavan ryhmän haaliminen kasaan on vaikeaa ja tarpeettoman ylimitoitettua toimintaa. Lisäksi suurissa kokouksissa väistämättä, ilmapiiristä riippumatta, jotkut saavat muita paremmin näkökantansa esiin. Käsittely tuntuu kaikesta huolimatta jäävän myös melko abstraktille tasolle. Esimerkiksi Ruotsin ydinjätehuollon suunnitelmia ja kustannuksia esittelevän raportin PLAN 2003:n luvuissa kuparikapselin vaihteluväli oli ± 50 %. [PLAN 2003]

Suomalaiseen käyttöön on siten tarpeen luoda yksinkertaisempi menetelmä, joka korjaisi myös Lichtenbergin menetelmän puutteet. Lähtökohtana voisi olla, että yksi teknistaloudellisesti aiheen hallitseva henkilö määrittää sopivat kustannuserät, antaa niille selkeät kuvaukset ja arvioi olennaisimpia riskejä. Alkuperäinen arviointi voidaan tehdä myös useamman henkilön toimesta jolloin arvoja verrataan keskenään. Kustannuserän ja riskien suuruutta voidaan arvioida sitten lisää ryhmätyönä palaverissa ja/tai sähköpostilla ja muodostaa sopivat vaihteluvälit ja arvioida erien välisiä korrelaatioita. Menetelminä voidaan käyttää kaikkia mahdollisia keinoja, jotka kuhunkin erään liittyvään riskiin ovat tarkoituksenmukaisia. Yksittäisten näkemysten ja fokusryhmien ohella kysymykseen tulevat siis lähinnä erilaiset tilastot. Kaikkien mahdollisten mahdollisuuksien ja riskien listaaminen on tärkeää, tapahtuman pientä todennäköisyyttä voidaan kompensoida valitsemalla erilainen jakauma. Todennäköisyyslaskentaa jatketaan lopuksi tekemällä Monte Carlo-analyysi ja/tai hakemalla kokonaiskustannus analyttisesti summaamalla.

Menetelmä on huomattavasti helpompi ja halvempi toteuttaa, eikä se vaadi ulkopuolista konsulttia johtamaan arviointiprosessia. Siten se soveltuu myös pienemmille projekteille. Lopputuloksena voi olla kuitenkin tarkempi, koska riskien käsittely ei jää niin abstraktille tasolle. Tekniset parannusmahdollisuudet ja vaihtoehdot voidaan huomioida myös laskuissa, jolloin ne siirtävät vain kolmiojakauman ala-arvoa pienemmäksi. Menetelmä tuottaa selvitysdokumentin, joka sisältää kustannuserät, kuvauksen niiden sisällöstä, riskiarviot, muodostetut jakaumat ja laskun kokonaiskustannukselle. Lukuja on helppo tarvittaessa päivittää ja tarkentaa myöhemmin. Tämä etenemistapa, olkoon nyt vaikka tässä Saarnion menetelmä tai luova kustannuserien sisältöä tutkiva riskiarviointimenetelmä etenee siis seuraavalla tavalla:

1. Kustannuserien mahdollisimman tarkka määrittely ja erittely: Riskien arvioijilla täytyy olla tiedossaan mihin kustannusarviot perustuvat ja mitä mahdollisia varauksia tai mahdollisia yli- tai aliarviointeja niihin liittyy.
2. Yksittäinen arvioija tai pienryhmä miettii erille riskit ja mahdollisuudet käyttäen hyödyksi kaikkia tarkoituksenmukaisia apuneuvoja, esim. tilastoja yms. ja kaikkea saatavissa olevaa tietoa
3. Riskeille ja mahdollisuuksille määritellään lukuarvo. Näitä lukuarvoja voidaan käyttää periaatteessa myös deterministisen kustannusarvion laadinnassa. Mutta, kun edetään todennäköisyyspohjaisesti, käytetään näitä vaihteluvälejä, joihin siis sisältyisivät kaikki epävarmuudet, kolmiojakauman muodostamiseen. Jos mahdollista, samalla määritellään kustannuserien välisiä korrelaatioita.
5. Lasketaan Monte Carlo- simulointi vaikkapa 5000 kierroksella ja tuotetaan S-käyrä tuloksista. Parhaaksi arvioksi valitaan käyrästä se kustannusarvio, jolla on 50 % todennä-

köisyys että kustannukset ovat sitä pienemmät. Suurimmat riskit ja mahdollisuudet listataan.

6. Pitkässä projektissa analyysia päivitetään ja otetaan huomioon mahdolliset ulkopuoliset lausunnot.

Tässä työssä edetään käytännöllisistä ja aikataulullisista syistä pitkälti vain allekirjoittaneen subjektiivisen arvion varassa. Työn aikana on pidetty kuitenkin palavereja, joissa on tullut hyvin esille myös muiden tahojen näkemyksiä asioista. Lisäksi työ on tarkastutettu muilla alan asiantuntijoilla.

Diskonttausta ei laskennassa käytetä, koska voidaan arvioida, että korkotaso on keskimäärin pitkällä aikavälillä aina suurempi kuin palkkojen ja rakennuskustannusten nousu. Diskonttaamatta jättäminen on siis yksinkertaistus ja sisäinen varautuminen näihin, vaikkakin varsin konservatiivinen eli arvoltaan selvästi suurempi todennäköisiin riskeihin nähden.

Yksi mielenkiintoinen kysymys on muokataanko kustannuserät niin, ettei niitä ole liikaa, koska jakaumien ja niiden välisten korrelaatioiden määrittelemine menee työlääksi suurelle joukolle. Sopivasti yhdistelemällä samaan kategoriaan kuuluvia eriä voidaan niiden määrä pienentää alle 40:een. Toisaalta olisi myös yksinkertaista ja vertailukelpoista käyttää pohjana suoraan nykyisen jätehuoltokaavion kustannusarvioita ilman epävarmuusker-toimia. Pitkällisen pohdinnan tuloksena tässä työssä päädyttiin käyttämään jätehuolto-kaavion Fortumiin kohdistuvia eriä melko suoraan. Joitain hyvin pieniä ja samaan nip-puun kuuluvia eriä voi toki olla aiheellista yhdistää, mutta tässä työssä yhdistely tullaan tekemään käytännössä vasta erien välisiä riippuvuuksia mietittäessä.

6 KUSTANNUSERIEN ARVIOINTI JA RISKIANALYYSI

Tässä osiossa suoritetaan jätehuoltokaavion analyysi Fortumin kustannusten osalta. Aluksi käsitellään riskejä yleisesti ja luokitellaan niitä hieman, sitten syvennyttään jokaiseen erään erikseen. Pääpaino on hyödyllisintä pitää erissä joihin liittyy euromääräisesti suurin epävarmuus. Kaavioon ja eri kustannusarvioihin liittyviä epäselvyyksiä ja seka-vuuksia, mitä ulkopuoliselle lukijalle saattaa ilmetä, selvitetään. Kustannuserien takana olevia teknisiä ratkaisuja ja mahdollisia sisäisiä varautumisia tai aliarviointeja yritetään selvittää. Tämän jälkeen voidaan arvioida riskejä ja luoda niiden pohjalta kullekin kus-tannuserälle todennäköisyysjakauma.

6.1 Yleisiä ja yhteisiä riskejä

Pienen kirjallisuusselvityksen mukaan syiksi todella suuriin kustannusylityksiin eri pro-jekteissa on mainittu mm.:

- Projektihallinta, alihankkijat, vedätykset
- Kohonneet turvallisuus ym. vaatimukset
- Sopimusrikokset
- Huono suunnittelu ja jatkuvat muutokset suunnitelmiin
- Huonosti ajateltu ja toteutettu projekti

Ydinjätehuoltoon liittyen relevantteja syitä voisivat olla ainakin huono projektihallinta ja kohonneet vaatimukset.

Tässä yhteydessä yleiset riskit voisi luokitella kolmeen kategoriaan:

- Inflatoriset
- Projektihallinnolliset
- Viranomaisten/suunnittelijoiden vaatimukset & muut riskit

6.1.1 Inflatoriset riskit

Yleisen inflaation mukana kulkevia tekijöitä ovat mm. materiaalien, rakennus- ja louhintaurakoiden, komponenttien ja laitteiden hinnannousu sekä käyttöhenkilöstön palkkojen kasvu. Pitkä toteutusaika tasaa hinnanvaihteluiden vaikutusta, joten olennaista onkin mille tasolle hinnat asettuvat pitkällä aikavälillä. Inflaatiolla sinänsäkään ei ole suurta merkitystä, koska varautumislaskelmissa ei diskontata tulevia menoja ja korkotuotot siten peittävät hintojen nousun. Tässä yhteydessä on kuitenkin aiheellista yleisesti käsitellä olennaisimpia materiaaleja ja urakoiden ajoituksen vaikutusta.

Bentoniitti

Bentoniittisaven käyttö perustuu sen hyvään kykyyn imeä ja sitoa itseensä vettä ja muita aineita. Paisuessaan se ikään kuin muodostaa tiiviin esteen vesivirtauksille ja suojaa kuparikapselia. Oikea laatu ja saven tiheys on tässä mekanismissa tärkeää. Suomeen sitä tuodaan nykyisellään laivoilla ja käsittelypaikkoja on jo olemassa, sillä sitä käytetään yleisesti mm. kaatopaikkojen ja teiden pohjana. Kyseistä savilaatua tuotetaan erityisesti Yhdysvalloissa, mutta esiintymiä on yleisesti eri puolilla maailmaa. Suomessa käytetään näillä näkymin intialaista bentoniittia kapselin ympärille tuleviin blokkeihin. Tunnelien täyttömateriaaliksi taas tutkitaan käytettäväksi Friedlandin savea, joka on samantyyppinen paisuvahilainen savilaatu. Bentoniitin hintaan ei hyvästä saatavuudesta johtuen liity suuria nousupaineita, mutta varsinkin, jos oikea laatu on tarkkaa, voi jonkin verran hintariskiä ilmetä. Bentoniitin tai muun käytettävän savilaadun hinta kaikkine työstökuluineen on keskeinen tekijä jätehuoltokaaviossa Posivan kustannuksissa, mikä nostaa sen painoarvoa ehkä keskeisimmäksi materiaaliksi.

Kupari

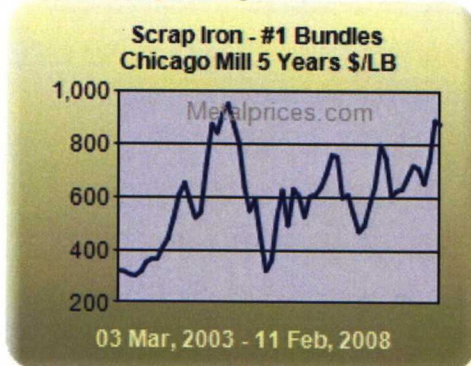
Raaka-aineista kuparin hinta on ehkä toiseksi olennaisin varsinkin tulevaisuudessa, kun kapselien määrä kasvaa ja niiden osuus hinnasta kasvaa suhteessa kiinteisiin kuluihin. Kapseleitten ulkokuori on olennaisin kuparin käyttökohde, mutta myös sähköjohtojen ja laitteiden yms. hinta seuraa pieneltä osin kuparin maailmanmarkkinahintoja. Kapselien hankinta toteutetaan vähitellen vuosikymmenten saatossa, joten lyhytaikaisilla raaka-ainehintojen heilahteluilla ei ole merkitystä. Olennaisempaa on se mille tasolle ne asettuvat pitkän ajan kuluttua. Tietyssä mielessä voisi olettaa, että sekä energia että raaka-aineet tulevat pysyvästi olemaan kalliimpia kuin 90-luvulla, jolloin ne olivat halvimmillaan suhteessa kokonaistuotantoon.



Kuva 12: Kuparin hinnan kehitystä

Rauta

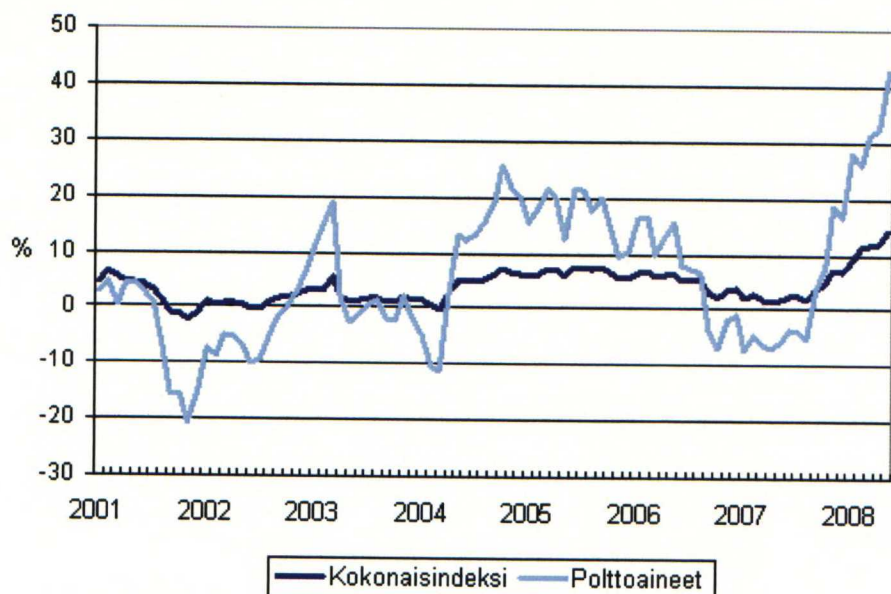
Teräksen ja raudan hinnat vaikuttavat paitsi kapseleitten sisäosien hintaan myös hieman yleisiin rakennuskustannuksiin. Raudan hinta ei ole niin olennainen kupariin verrattuna, koska se on joka tapauksessa selvästi halvempaa.



Kuva 13: Raudan hinnan kehitystä

Energia

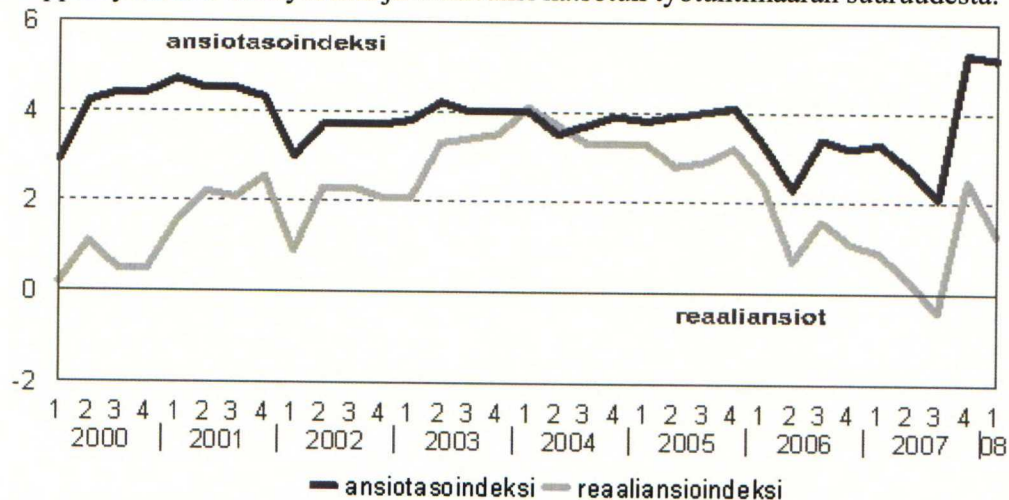
Sähkön ja öljyn hinnat vaikuttavat kaikkiin kuljetuksiin sekä työkoneiden ja rakennusten käyttökuluihin.



Kuva 14: Kuljetusten ja polttoaineitten hintakehitys [Tilastokeskus]

Palkat

Henkilökustannuksia on periaatteessa kaikissa kustannuserissä. Palkkakulujen suuruus riippuu yleisestä kehityksestä ja riittäväksi katsotun työtuntimäärän suuruudesta.

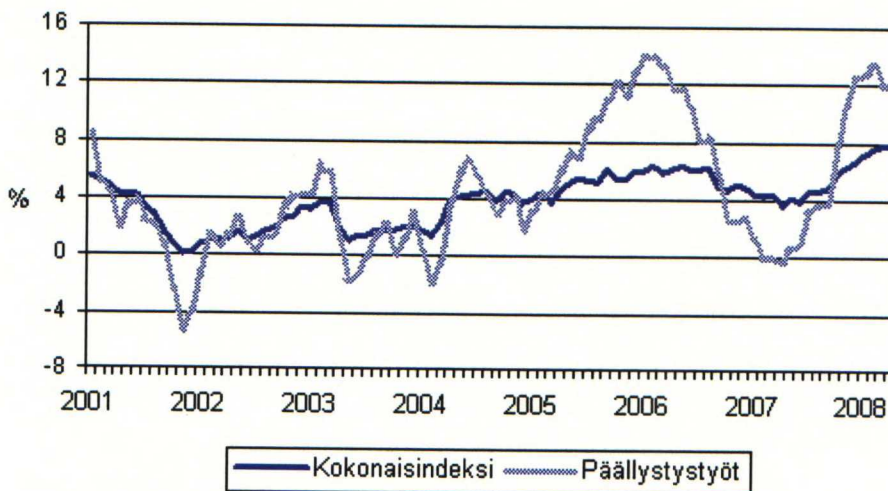


Kuva 15: Yleisten palkkauskustannusten kehitys [Tilastokeskus]

Urakat

Yleinen inflaatio rakennus- ja teollisuusalalla on suurin riski, toisaalta myös korkotaso nousee usein inflaation mukana, joten tätä ei niin tarvitse huomioida. Louhinta- ja rakennusurakat jakautuvat niin pitkälle aikavälille, että periaatteessa suhdanteiden merkitys vähenee. Toisaalta huonolla onnella voivat juuri suurimmat kuluerät ajoittua ylikuumenuneisiin suhdanteisiin.

Yksi periaatteellinen mahdollisuus kokonaiskustannusten alentamiseen tai ainakin riskin pienentämiseen olisikin eräänlainen ”hankinta-aikamalli”. Louhinnan, rakentamisen ja hankinnan kustannuksiin vaikuttaa olennaisesti vallitseva suhdanne. Jos työt tehdään silloin kuin jokin ala on ylikuumentunut, joudutaan maksamaan useita kymmeniä prosentteja enemmän urakoista. Tämä on hyvin yleinen syy kustannusylityksiin rakennushankkeissa. Ydinjätehuollon pitkä aikaskaala huomioon ottaen olisi hyvä mahdollisuus aikataulusta tinkimällä saavuttaa suuria kustannussäästöjä. Asiaa vaikeuttaa kuitenkin kolme asiaa: mahdolliset viivästymisen aiheuttamat kustannukset toisaalla, poliittinen paine olla aina alkuperäisaikataulussa ja vaikeus löytää oikea aika ja suhdanne investoinnin toteuttamiseen. Kaikki nämä ongelmat ovat tapauskohtaisia ja välttämättä monissa tapauksissa hankinta-aikamallin toteuttamisessa ei ole mitään ongelmaa. Esimerkiksi matalasuhdanteessa, jos työtä ja raaka-aineita saa aiempaa halvemmalla, voi olla järkevää toteuttaa etuajassa urakoita tai ostaa materiaalia varastoon. Esimerkiksi kuparin hinnassa on havaittavissa selvää syklisyyttä, jolloin suhteellisen helppoa voisi olla teettää kapseleita aina syklistä. Hankintaorganisaatiolla pitäisikin olla tietty tapauskohtainen vapaus oman harkintansa mukaan poiketa alkuperäissuunnitelmista, johdon ja omistajien hyväksynnällä luonnollisesti. Joka tapauksessa yleisesti ottaen hankkeen tekninen mahdollisuus aikataulun muutokseen voidaan nähdä optiona, jolla on riskiä pienentävää arvoa. Mahdollisuuksia aikatauluvapauden hyväksikäyttöön kustannuksien alentamisessa voisi selvittää jatkossa, kun suurimmat hankinnat ja louhinnat lähestyvät.



Kuva 16: Maanrakennustöitten hintaindeksi [Tilastokeskus]

Laitteet

Koneiden, laitteiden ja komponenttien hintaan vaikuttaa samalla tavoin vallitseva suhdanne. Erikoislaitteissa saattaa myös tuotekehityksessä tulla ongelmia.

6.1.2 Projektihallinnolliset riskit

Kustannusten arviointi on vaikeaa ennen kaikkea siksi, että ne loppujen lopuksi riippuvat hyvin paljon hankkeen toteuttajista. Jotkut asiat voidaan tehdä niin eri tavoin. Hankinnoissa voidaan olla lepsuja ja organisaatiot voivat olla byrokraattisia.

Ostajan ja koko organisaation yleinen asenne ja työmoraali voi siis jossain määrin vaikuttaa kustannuksiin varsinkin rakennuttamisen sekä tutkimuksen ja hallinnon osalta, mutta toisaalta itse urakoilla ja materiaaleilla on kuitenkin aina tietty hintatasonsa.

Hallinnon ja tutkimuskulujen paisuminen sekä organisaation puute on keskeinen asia johon kannattaa kiinnittää huomiota. Hankintojen toteuttamistakin pitää sen verran valvoa, että isot urakat tulee riittävän laajasti kilpailutettua.

Yleinen syy monissa kustannusylityksissä ovat aikatauluongelmat, jonka seurauksena osa resursseista seisoo. Aikataulun pettäminen sinällään ei ole kovin suuri ongelma loppusijoitustoiminnassa, koska toiminta ei ole niin vuoden tarkkaa. Olennaista on kuitenkin kiinnittää huomiota niihin seikkoihin, joiden myöhästymisen saattaisi johtaa useamman muunkin käynnissä olevan osaprojektin myöhästymiseen ja sitä kautta kustannusylityksiin.

Suunnitelmien puutteellisuus ei pitäisi koskea ydinjätehuoltoa sillä suunnitelmia tehdään moneen kertaan jo hyvissä ajoin ennen toteutusta. Toistaiseksi kuitenkin kustannusarvioissa monet erät ovat vielä melko karkeasti arvioituja. Näyttäisi kuitenkin siltä, että näissä tapauksissa kustannusarviot ovat hyvin konservatiivisia ja suunnitelmien tarkentuminen saattaa päinvastoin pienentää kustannusarvioita tulevaisuudessa.

6.1.3 Vaatimukset, poliittiset ja ”tiedostamattomat riskit”:

Ei ole tietenkään relevanttia käsitellä ”maailmansota, maanjäristys ja hyperinflaatio samaan aikaan” -tyyppisiä tilanteita. Myös tulipalo-, ilkivalta- ja henkilövahinko- yms. tapauksia varten tullaan hankkimaan vakuutukset, joten kustannusarviota niiden ei pitäisi sekoittaa kuin korkeintaan välillisesti.

Vaurioituneen polttoaineen tapauksessa kustannukset tulevat todennäköisesti jo voimalliseksi. Jos vaurio tulee paljon myöhemmin varastoinnissa tai kuljetuksessa, Posiva joutuu kuitenkin maksamaan kulut. Pienet vauriot mahtuvat vielä hyvin budjettiin ja toisaalta kontaminaation varalle välivarastossa ja kapselointilaitoksessa on kattavat järjestelmät. Kuljetuksissa taas on aina käytössä kaikissa olosuhteissa erittäin tiivis kapseli.

Loviisan kuljetuksiin liittyy riski mielenosoituksista ja muista häirintätoimista. Nykyisiin kustannuksiin sisältyy kuitenkin jonkinlainen saattue, jossa on myös poliisiautoja. On oletettavaa, että mielenosoituksia ei läheskään kaikissa kuljetuksissa esiinny varsinkin, kun tarkkoja päivämääriä ei julkisesti kerrota. Jos muutaman kerran joudutaan pyytämään viranomaisapua, ei se siis vielä ylittäne kustannuserään varattua summaa kovin paljon.

Tekniset/suunnitelmien riskit ja mahdollisuudet on käsitelty kunkin kustannuserän ohessa alempana. Suunnitelmaan liittyvä tekninen tms. virhe on myös tyypillinen kustannusylitysten aiheuttaja joissain projekteissa, jos esim. alkuperäinen idea on mahdoton toteuttaa kannattavasti.

Olkiluodon kalliooperän toteaminen soveltumattomaksi loppusijoitustoiminnan alkuvaiheessa tai ennen sitä on erittäin epätodennäköinen tapaus tehtyjen kairauksien ja simulointien perusteella. Kustannusten kasvu ja aikataulun viivästyminen olisi kuitenkin suuri tällaisessa tapauksessa.

Loppusijoituksen palauttaminen olisi ehkä suurin kustannusylityksen aiheuttaja, mitä ajatella saattaa. Siihen johtavia syitä voi olla lähinnä Olkiluodon kalliooperän muuttuminen sopimattomaksi, joka on varsin mahdotonta lyhyellä aikavälillä, poliittiset syyt tai sitten jonkun paremman ratkaisun löytyminen. Ainoa parempi vaihtoehto voisi käytännössä olla jälleenkäsittely ja transmutaatio nopeassa reaktorissa. Tähän mennessä tällainen käsittely on ollut kallista ja ei kovinkaan suosittua poliittisesti. Uraanin hinnan nousu ja uusien menetelmien ja reaktorien kehitys saattavat muuttaa kuitenkin suhtautumisen pitkällä tähtäimellä. Jos uudet käsittelymenetelmät tuovat kustannussäästöjä, on se positiivinen riski, jos ne taas ovat kalliimpia, mutta yhteiskunnan painostuksesta joudutaan ottamaan käyttöön, aiheutuu lisäkustannuksia. Joka tapauksessa jo kapseloitua polttoainetta ei ole järkevää heti ensimmäisenä jälleenkäsitellä vaan sitä kannattaa säilyttää loppusijoitustilassa, kunnes aktiivisuus ja käsittelykustannukset ovat alentuneet.

Strategian muutos jälleenkäsittelyyn ei siis muuttane loppusijoitussuunnitelmia Onkalon lopullista täyttämistä lukuun ottamatta, tämäkin on positiivinen riski, eli rahat jäisivät käyttämättä.

Vaatimusten kasvu on ollut olennainen suuria kustannusnousuja aiheuttanut tekijä viime aikoina. Tyypillisiä nousun aiheuttajia ovat esim. valvontaviranomaisen säätämät uudet aiempaa pienemmät raja-arvot vapautettavaksi kelpaavalle lievästi kontaminoituneelle materiaalille. Teknisten suunnitelmien laatijat voivat vastaavasti suosittaa aiempaa kalliimpien täyttö- ym. materiaalien käyttöä tai ainakin taloudellista varautumista sellaisen käyttöön. Näitä riskejä on vaikea tietää ennalta. Siksi tällaiset tekniset muutokset suunnitelmissa tai vaatimusten nousu ovat ehdottomasti suurin riski.

6.2 Kustannuserät, niihin liittyvät mahdollisuudet ja riskit sekä jakaumien arvotus

Tässä vaiheessa on hyödyllistä käsitellä jätehuoltokaavion jokaista kustannuserää yksitellen. Arvioinnin pohjana ovat vuoden 2007/2008-kaavion luvut, ks. Liite 1.

Lisäksi erien ”avaamisessa” on käytetty kustannusarvioraportteja, jotka ovat olleet kaavionkin lukujen pohjana. Kustannussäästöjä tuottavina mahdollisuuksina saattaa ehkä olla esitetty muutamassa kohdassa melko suoraviivaisia tulkintoja, mutta toisaalta, jos erä esitetään kolmiojakaumana, jää myös mahdollisuuden koko potentiaalin toteutumisen todennäköisyys hyvin pieneksi. Jakaumien arvioinnin pohjana on tässä työssä pääosin allekirjoittaneen oma näkemys eri raportteihin tutustumisen jälkeen, mutta toki myös muiden ydinjätealan ihmisten kanssa käydyissä palaverissa esiintyneillä näkemyksillä on ollut huomattava vaikutus.

Alla olevassa listauksessa kunkin kustannustekijän osalta on ilmoitettu käytettävä todennäköisin arvo miljoonina euroina (ME) sekä alimman ja ylimmän arvon poikkeamat prosentteina todennäköisimmästä arvosta. Keskimmäisenä lukuarvona eli todennäköisimpä-

nä kustannuksena on käytetty Fortumin osuutta jokaisen kaavion kustannuserästä ilman epävarmuuskerrointa. Usein erän sisällön määrittelyn yhteydessä on kuitenkin myös mainittu erän kokonaiskustannus, koska mm. monia Posivan eriä täytyy arvioida kokonaisuutena.

Tyhjäksi jätetyt kohdat:

- | | |
|------------|---|
| | Olkiluodon varaston rakentaminen |
| 1.1 | |
| 1.9 | Loviisan varaston käytöstäpoisto |
| 4.1 | Olkiluodon VLJ investoinnit |
| 4.3 | Loviisan VLJ-investoinnit |

voivat hieman hämätä kaaviossa, mutta toistaiseksi ne ovat turhia. Olkiluodon varaston rakentaminen on jo tehty, Loviisan varaston käytöstäpoistokulut ovat mukana koko voimalan käytöstäpoistokuluissa ja tulevia investointeja ei ole vielä näköpiirissä. Joka tapauksessa ne voivat tapahtua vähitellen käytön yhteydessä. Loviisan varaston käytöstäpoistokustannukset olisi toisaalta ehkä järkevämpää eriyttää tähän omaksi eräkseen.

Myös erä:

5.10.9 KPA-lastaus

Arvoltaan 6,2 miljoonaa € on turha jäännös, joka tulee jatkossa poistumaan kaavioista.

Lisätelineet

Välivarastojen laajennuskustannusten sinänsä ei ehkä tarvitsisi olla rahastossa, koska ne toteutetaan vähitellen käytön yhteydessä polttoaineen kertymisen mukaan. Tässä kuitenkin on kyseessä vain ne lisätelineet mitä tarvitaan nyt reaktorissa ja jäähdytysaltaissa oleville nipuille. Telineet on tehty erityisestä booriteräksestä, joka mahdollistaa nippujen tiheän sijoittelun ilman kriittisyysvaaraa. Booriseosteinen teräs on melko yleistä varastotavaraa, mutta koska telineitä valmistetaan yksittäiskappalein ja tarkastusvaatimukset ovat tiukat, muodostuvat yksikkökustannuksetkin suhteellisen korkeiksi. Riskejä liittyy lähinnä yhden valmistajan varassa olemiseen, mutta koska erä on niin pieni ja merkitykseton, on tässä järkevää vain käyttää epävarmuuskertoimen suuruista osaa jakauman alaja yläarvoiksi.

-20 % 0,501735 +20 %

Varasto 2:n itsenäistäminen 2009 – 2011

Varaston itsenäistäminen sisältää kustannukset, jotka aiheutuvat, kun voimalaitoksen käytöstäpoistovaihe alkaa ja ei ole enää taloudellisesti järkevää käyttää kaikkia niitä yleisjärjestelmiä, joita varasto käytön aikana voi hyödyntää. Esimerkiksi jäähdytystä ei voida enää ottaa voimalan lauhduttimien jäähdytyskanavasta vaan uusi kanava täytyy kaivaa. Esim. kiinteytyslaitos ja joitakin muita järjestelmiä sen sijaan voidaan vielä säilyttää ainoastaan varaston tarpeisiin. Tästä kohteesta oli vaikeampi löytää yksityiskohtaista raporttia arvioinnin perusteista, mutta joka tapauksessa erään ei liittynyt suurempia riskejä tai säästömahdollisuuksia. Suuri mahdollisuus yleisesti varasto 2:n käyttökustannuksiin olisi tuki Lo-3:n rakentaminen ja käyttöönotto, mutta tässä yhteydessä ei sillä spekuloida.

-20 % 10,93437 +20 %

Varasto 2:n its. käyttö vuosina 2012 - 2033

Varaston käyttö kuuluu kiinteästi voimalan käyttömenoihin niin kauan kunnes voimalaitos on purettu. Sen jälkeen sille täytyy järjestää oma henkilöstö.

Epävarmuutta aiheutuu lähinnä palkkaindeksin kehityksestä ja riittäväksi katsotun henkilöstömäärän suuruudesta. Edelleen katsotaan varaston käyttökustannuksista olevan kuitenkin niin hyvää tietoa vanhastaan, että erä tulee toteutumaan 20 % haarukassa.

-20 % 23,55888 +20 %

Varasto 2:n lisäorganisaatio 2017 – 2033

Lisäorganisaatio tarvitaan sitten, kun käytöstäpoisto on suoritettu ja voimalassa ei ole enää muuta toiminnallisuutta kuin polttoainevarasto. Se sisältää mm. vartiointi- ja yleisiä hallintokuluja. Arvioitu puoli miljoonaa vuodessa mahdollistaisi ehkä n. 10 vartiointi- ja hallintoihmisen pitämisen palkkalistoilla, mikä sinänsä lienee täysin riittävää. Epävarmuutta aiheutuu lähinnä palkkaindeksin kehityksestä ja lopulta riittäväksi katsotun henkilöstömäärän suuruudesta.

-20 % 8,582231 +20 %

Siirtosäiliöt ja laitteet

Kuljetuskustannuksissa TVO:lla on selvästi enemmän maksuja kuin todellisia kustannuksia, mutta tälle on selkeä selitys. Voimalayhtiöt sopivat kustannusten jakamisesta tasaisesti polttoainemäärän mukaan ennen päätöstä loppusijoituspaikkakunnasta, jottei kummallakaan ole tarvetta ajaa omaa etuaan paikan valinnassa.

Olkiluodossa on jo kuljetussäiliöt olemassa, joten tässä on ilmeisesti kyseessä kahden Castor-VVER-säiliön hankinta Loviisan kuljetuksia varten. Investoinnin kuluarviot pohjautunevat aikaisempiin hankintoihin ja uudempiin tarjouspyyntöihin mm. Castoria valmistavalta saksalaiselta yhtiöltä, joten epävarmuus hinnoissa on pieni. Varautuminen voi olla kaksinkertaista, jos kerralla kuljetetaan vain yksi säiliö. Toisaalta on ollut ajatusta, että toinen tyhjä säiliö otetaan Olkiluodosta aina paluukuormaksi, mikä säästäisi kuljetuskustannuksissa. Riskinä on lähinnä yhden toimittajan varassa oleminen korkeasuhteudessa. Toisaalta kustannuserää (kokonaissumma 4,1 M€, kun myös TVO:n osuus huomioidaan) arvioitaessa lienee jo tämä huomioitu. Erän pienuus huomioiden ei sitä tässä vaiheessa ole syytä tarkemmin analysoida vaan antaa sille sama suhteellinen jakauma kuin aiemminkin.

-20 % 1,6514 +20 %

Investoinnit kuljetuskalustoon

Investointi kuljetuskalustoon pitää sisällään mahdollisen kuljetuslavetin ostamisen. Erä on tarpeeton, jos kuljetusyrittäjiltä löytyy jo sopivia lavetteja. Kokonaiserä 0,6 M€, on muutenkin melko suuri, jos se koskee vain yhtä rekan perävaunua. Erilaisten mahdollisuuksien määrä huomioiden vahvasti negatiiviseen painottunut jakauma on suhteellisen perusteltu.

-50 % 0,224947 +20 %

Kuljetusten suunnittelu

Kuljetusten suunnittelu on näinkin pientä, kokonaiserä 0,1 M€, koska suunnitelmaraportit reitinvalinnan ja saattueen koostumuksen ym. osalta on jo tehty ja niitä päivitetään. Riski

on melko suuri, jos suunnitelmat menevät uusiksi viime hetkillä. Toisaalta, jos mennään suoraan vanhojen suunnitelmien mukaan, erä on melko tarpeeton.

-40% 0,014308 +40%

Olkiluodon kuljetukset 2021 – 2033

Olkiluodossa itse matka on hyvin lyhyt ja kokonaisuudessaan suljetulla laitosalueella. Siten se koostuu lähinnä lastaus- ja purkutoiminnoista. Kuljetuksia on toisaalta määrällisesti paljon enemmän. Polttoaineen hinnan vaikutus tulee kuitenkin olemaan suhteellisen pieni ja muutenkin kuljetukset pystytään suurella varmuudella tekemään nykyisellä siirto-konseptilla. Tällä perusteella karkea 20 % marginaali lienee lähellä totuutta.

-20 % 0,490717 +20 %

Loviisan kuljetukset 2021 – 2033

Kuljetusten toteutustapaa ei ole lukkoon lyöty, mutta maantiekuljetus rekalla on todennäköisin vaihtoehto. Rekan lisäksi tarvitaan saattue poliisi- ja varoitusautoineen. Kuljetuskustannukset ja epävarmuuskerroin vaikuttavat kaikin puolin järkevän suuruisilta. Käytetyn polttoaineen siirtelystä mm. aikoinaan Neuvostoliittoon ja Venäjälle on jo kokemusta, joten sikäli epävarmuutta on vähän, mutta toisaalta mm. liikennepolttoaineiden hinnat ovat heilahdelleet rajusti, joten 2,4 M€ kokonaisarviokaan ei välttämättä riitä. Tällä perusteella n. 40 % kustannusylitysikin on periaatteessa mahdollista. [Kuljetus 2004]

Kuljetuksiin liittyy riski mielenosoituksista ja muista häirintätoimista. Nykyisiin kustannuksiin sisältyy kuitenkin jo jonkinlainen saattue, jossa on myös poliisiautoja. On oletettavaa, että mielenosoituksia ei läheskään kaikissa kuljetuksissa esiinny varsinkin kun tarkkoja päivämääriä ei julkisesti kerrota. Jos silloin tällöin joudutaan pyytämään viranomaisapua, ei se siis vielä ylittäne kustannuserään varattua summaa kovin paljon.

-20 % 0,548505 +40 %

Kapselointilaitoksen rakentaminen:

Suunnittelu ja projektityö

Yksityiskohtainen suunnittelu ja piirustusten tekeminen vie aina resursseja ja aikaa. Kokonaissumma 15,3 miljoonaa kuitenkin tuntuu hieman yläkanttiin olevalta, kun esim. erikoislaitteiden suunnittelu yms. on joka tapauksessa huomioitu myös asianomaisissa erissä. Tällä perusteella, huomioiden vielä tämän erän nykyisen kustannusarvion suuntaantavuus, on periaatteessa mahdollista päästä ainakin 30 % alempiin kuluihin.

-30 % 5,10432 +20 %

Rakennukset, rakenteet ja aluetyöt

Erikoisrakennusten hintoja on vaikea vertailla omiin kokemuksiin teollisuusrakentamisesta, mutta ainakin tavanomaista tekniikkaa edustavan varasto/paja-rakennuksen hinta 1,220 miljoonaa 7200 kuutiolta vaikuttaa kohtalaisen suurelta, kun ottaa huomioon, että suunnittelua, sähköistystä yms. ei ole hinnassa mukana. Kustannusarvioissa saattaakin olla jotkut asiat kuten juuri suunnittelu ja sähköt käytännössä huomioitu kahteen kertaan. Jopa neljänneksen alennus on sikäli vielä hyvinkin mahdollista saavuttaa suunnitelmien vähitellen tarkentuessa.

-25 % 11,8352 +10 %

Polttoaineen käsittelyjärjestelmät

Erä koostuu polttoaineen käsittelylaitteiden lisäksi nostureista, kapselin kannen hitsausjärjestelmästä ja kapselin liikuttelualustasta sekä myös hissistä maan alle.

Nosturin ja hissien hinta on melko helppo hankkia valmistajilta, mutta uusien kehitettävien järjestelmien ei. Kokonaiskustannus 19,8 M€ kattaa kyllä hyvin jo tietyn määrän tuotekehityksenkin kuluja ja kansainvälinen yhteistyö voi tuoda säästöjä tai myyntituloja.

Joka tapauksessa tässä yhteydessä karkea 20 % jakauma voi olla kuitenkin melko todennäköinen.

-20 % 7,91648 +20 %

Prosessijärjestelmät

Koostuu erilaisista turvallisuus- ja jätehuoltoratkaisuista, yhteensä 7,4 M€. Tarkemmin syventymättä yksityiskohtiin, 20 % tähänkin ei ole kovin kaukana lopullisesta totuudesta.

-20 % 2,95776 +20 %

Automaatio- ja telejärjestelmät

Koostuu mm. aktiivisuuden mittausteistä sekä puhelimista, kaiuttimista, valvomon ruuduista ja päätteistä, yhteensä 4,5 M€. Mittauslaitteita lukuun ottamatta erä on varsin konventionaalista tekniikkaa. Ainakin niitten osalta erä on varsin konservatiivisesti arvioitu ja tarvittavat laitteet ovat viime aikoina halventuneet selvästi. Sikäli vajaan kolmannuksen alennus lopullisissa ostosummissa on hyvinkin mahdollista.

-30 % 1,80544 +20 %

Sähköjärjestelmät

Rakennukset kytkeytyvät verkkoon kahdella 20 kV liitännällä, joista toinen tulee Olkiluodosta. Sähköliitântöjen hinnaksi on kokonaisuudessaan arvioitu 4,2 M€. Laitoksen turvallisuustaso ei ole ollenkaan kriittinen sähkösaannista samalla tavalla kuin ydinvoimalaitoksilla. Sikäli kaksinkertaisen liitännän tuleminen kapselointilaitokselle on turhaa varsinkin kun akuista tuleva DC-syöttökin on. Toisaalta, jos Olkiluoto aikanaan poistetaan tuotantokäytöstä, uusi liitântä voi tulla tarpeen rakentaa, mutta järjestelmiä muutenkin ehkä jossain vaiheessa uusitaan. Syy kalliisiin järjestelmiin on kuitenkin viranomaisissa. STUK käsittelee loppusijoituslaitosta ydinlaitoksena ja kaavion erät joka tapauksessa suunnitellaan sillä perusteella, että vuoden lopussa ei ole enää käytössä olevia ydinvoimalaitoksia. Tältä osin on perusteltua olettaa, että käytännössä kuitenkin päädytään edullisempaan ratkaisuun kuin mitä kaaviota varten on esitetty.

Sähkökomponenttien hinnan nousu on olennaisin riski. Siihen vaikuttaa yleinen taloudellinen suhdanne ja materiaalien kuten kuparin hinta.

-25 % 1,664 +10 %

ONKALON rakentaminen

Onkalon tähän mennessä toteutuneet kustannukset ennustavat kokonaissumman jäävän jonkin verran alle nykyisen kaavion erän ilman 1,10 epävarmuuskerrointa eli 130 miljoonan [Onkalo]. Tämä on entistä todennäköisempää alkamassa olevan (maan)rakennusalan laskusuhdanteen vuoksi.

-15 % 29,52386 +10 %

Loppusijoitustilojen rakentaminen: Louhintatyöt

Tunneleissa ja sijoitusrei'issä on kustannuseriä arvioitaessa oletettu, että 20 % tilasta ja sijoitusreikien paikoista menee hukkaan ruhjeiden tai muun kallioperän sopimattomuuden takia. Merkittävää epävarmuuslisää on siis jo itse kustannuserissä. Tosin huonolla onnella ruhjeita voi olla vieläkin enemmän. Kokonaiserä on n. 59 M€. Kallion laatu alueella on lukuisissa tutkimuksissa osoittautunut hyväksi ja tunneleitten parhaaseen suuntaukseen liittyen tullaan vielä tekemään tutkimusta (kustannuserä nimeltä tutkimusvaraus), sikäli on mahdollista painottuminen hieman enemmän negatiiviseen suuntaan.

-30 % 18,00684 +20 %

Sijoitusreiät

Sijoitusreikien porauskustannukset ovat OL-kapseleille 15000 €/kpl ja Loviisan rei'ille 12300. Arvion mukaan 15 % rei'istä esi-injektoidaan mikä maksaa 6600 €/reikä. Reikien laatu on melko tarkkaa, mutta selvästi mahdollisuus parempaan kustannustehokkuuteen on olemassa ja 15 % varausta ei välttämättä täysin käytetä. Arvion konservatiivisuus huomioiden jälleen pieni painotus negatiiviseen voi olla lähempänä totuutta.

-30 % 4,932662 +20 %

Rakennustekniset työt

Rakennustekniset työt 8,4 M€ sisältävät mm. sijoitustunnelien lattiarakenteen ja reikien kaulusrakenteet. Tarkemmin tässä arvioimatta käytetään 20 % marginaalia kumpaankin suuntaan, vaikka periaatteessa lattiarakenteen suhteen saattaisi olla halvempiakin konsepteja.

-20 % 2,569499 +20 %

Järjestelmät

Järjestelmien kohdalle on kirjattu melkoisen suuri summa, 22 miljoonaa. Se pitää sisälleen mm. ilmastoinnin, veden, palontorjunnan, telejärjestelmän ja kaikkien kuilujen sähköistuksen. Sähköjen vetäminen ja valaistus jo pelkästään maksavat yli 9 M€. Sähköistyksen kustannuksia nostaa järjestelmien kaksinkertaisuus, joka on periaatteessa viranomaisvaatimus. Näyttäisi kuitenkin siltä, että tämä osio kaipaisi tarkentamista ja on oletettavaa, että tämä voisi hyvinkin alentaa kustannuksia nykyisestä.

-30 % 6,778237 +10 %

Kapseleiden kuljetuskalusto

Tässä erässä on hyvin olennaista täytyykö erikoisajoneuvo suunnitella ja rakentaa alusta asti vai voidaanko täydentää jotain markkinoilla olemassa olevaa tuotetta. Mahdollisuuksia suuriinkin säästöihin on, mutta myös ylityksiin. Kokonaishinta 2,5 M€. tarjoaa kuitenkin jo melko hyvät mahdollisuudet täysin toimivan yksittäiskappaleenkin kehittämiseen ja rakentamiseen. Loviisan ja Olkiluodon kapseleille on suunniteltu omat ajoneuvonsa, siksi erä on sama kummallekin yhtiölle. Periaatteessa olisi täysin mahdollista käyttää samaa ajoneuvoa kummallekin kapselikoolle. Tällainen mahdollisuus omalta osaltaan painottaa jakaumaa negatiiviseen suuntaan.

-50 % 1,248 +30 %

Bentoniittilohkojen kuljetuskalusto ja muut ajoneuvot

Tässäkin erässä on hyvin olennaista täytyykö ajoneuvo suunnitella ja rakentaa alusta asti vai voidaanko täydentää jotain olemassa olevaa tuotetta. Mahdollisuuksia suuriinkin säästöihin on, mutta myös ylityksiin. Loviisan ja Olkiluodon kapseleille on suunniteltu omat ajoneuvonsa, siksi erä on sama kummallekin yhtiölle. Periaatteessa tässäkin olisi mahdol-

lista käyttää samaa ajoneuvoa kummallekin voimayhtiölle. Mahdollisuudet painottavat jakaumaa negatiiviseen suuntaan.

-50 % 1,248 +30 %

Rakennuttajan kustannukset (13%)

Rakennuttajan kustannukset 10,8 M€ on saatu 13 % prosenttiosuudella kokonaisrakennuskustannuksista. Tarvittavat henkilöt löytynevät osittain Posivan organisaatiosta tai sitten ne osittain hankitaan. Tässä on käytetty hyvin pientä painottumista negatiiviseen suuntaan lähinnä siksi, koska kustannusarvio on tehty vain karkealla prosenttiosuudella, joka on melko suuri verrattuna yleiseen rakennusalan vastaavaan. Jos ja kun omassa organisaatiossa on jo päteviä henkilöitä tehtävään, tuonee se myös säästöä konsulttien käyttöön verrattuna.

-15 % 3,31617 +10 %

Cu-runko ja kansi (Fortum)

Fortumin kapseli on suhteessa kapasiteettiinsa kallis, mutta tähän saattaa olla puhtaasti geometrinen syy, pyöreitä (tai oikeastaan kuusikulmaisia) elementtejä on vaikeampi sijoittaa yhtä tiheästi kapseliin, kuin neliskanttisia. Kupariosan hinta on 81865 €. Olkiluodon kapselien kupariosan paino on 12400 kg ja kannen kupariosan n. 900 kg [Wikström 2007]. Raaka-aineen hinnaksi on laskennassa oletettu 4 €/kg, joka nykyisellä markkinahinnalla n. 7 €/kg ei tule riittämään. Tämänhetkisillä metallin hinnoilla raaka-aineiden osuus olisi itse asiassa jopa hieman enemmän kuin koko budjetoitu hinta valmistuskuluineen. Toisaalta kapselin valmistukseen saattaa olla varattu liikaa, varsinkin jos valmistus voidaan toteuttaa suurissa erissä yhteistyössä useamman maan loppusijoitusyhtiön kanssa. Jos valmistaminen tehdään valamalla, ei pitäisi jäädä ylimääräistä niin paljon kuin on laskettu tai ainakin sen luulisi voitavan saman tien uudelleenkäyttää valmistuksessa. Alla olevan jakauman ala-arvo on arvioitu kapselien kansainvälisen yhteisvalmistuksen säästöinä, yläarvo taas tilanteeksi, jossa kuparin hinta jäisi pysyvästi korkealle tasolle.

-20 % 29,96246 +40 %

Fe-runko ja kansi (Fortum)

Kapselin rautaosan hinta on 35568 € [Wikström 2007]. Teräksen ja raudan viimeaikainen kurssikehitys on saanut tämänkin materiaalihinnan arvion liian pieneksi, mutta toisaalta arvioissa pitää huomioida pitkän aikavälin kehitys. Valmistamisessa voidaan saada säästöjä kansainvälisellä yhteistyöllä. Jakauman ala-arvo on arvioitu kapselien kansainvälisen yhteisvalmistuksen säästöinä, yläarvo taas tilanteeksi, jossa valuraudan hinta jäisi pysyvästi korkealle tasolle.

-20 % 13,01789 +30 %

Kokoonpano, tarkastus ja kuljetus (Fortum)

Kapselitehtaan kuluissa on mahdollista saada säästöä, kun tuotantomäärät kasvavat. Tämän mahdollistaisi yhteistyö ruotsalaisten kanssa. Kuljetushinnat voivat nousta tulevaisuudessa jonkin verran.

-30 % 5,381108 +20 %

Kapselointilaitoksen käyttö:

Henkilöstökulut

Kapselointilaitoksen käyttökuluissa säästettäisiin, jos toimittaisiin täydellä sadan kapselin teknisellä vuosikapasiteetilla eikä 40/a kuten on suunniteltu. Tätä vaihtoehtoa tukee myös Timo Rannan diplomityössään Posivalle tehdyt optimointilaskelmat [Timo Ranta 2007]. Kapseloinnin aloittamisen myöhäistäminen voi poliittisista syistä olla jonkin verran kiu-sallista, joten parempi vaihtoehto lienee käytön jaksottaminen 10-15 vuoden jaksoille. Tähän vaihtoehtoon taas sisältyy ongelma työvoiman sijoittamisesta ja kokemuksesta. Toisaalta on väärin olettaa, että kapselointityövoima olisi aloittaessaan kaikki nuorta vä-keä ja, että kaikki haluaisivat olla eläkkeelle saakka samassa työtehtävässä. Todennäköi-sempää on, että monet saavuttavat eläkeiän tai vaihtavat työpaikkaa jo tuossa 10–15 vuo-den jaksossa ja lopuillekin ydinalan ammattilaisille lienee helppo löytää työpaikka Posi- van tai osakkuusyhtiöitten muista toiminnoista. Joka tapauksessa, jos suuri osa nyt suun- nitelluista uusista voimalaitosyksiköistä tulee käyttöön, saattaa olla, että kapselointilaitos- ta voidaan loppuaikoina käyttää maksimikapasiteetilla ilman jaksotustakin. Sanoisin, että tämä seikka kokonaisuudessaan muodostaa siksi huomattavan mahdollisuuden kaikkiin kapselointilaitoksen käyttöön liittyviin yksikkökustannuksiin. Jakaumaan on siksi lasket- tu ala-arvo kertomalla keskimmäistä lukua 40/100:lla. Ylempi arvo on vain karkea 20 % lisäys. Jakaumassa on käytetty nyt poikkeuksellisesti lukuarvoja prosenttiosuuksien si- jaan, koska äärimmäinen minimi oli niin helppo arvottaa tarkasti.

11,71653 29,29132 35

Energia ja vesi

Sähkön ja muun energian tulevaisuuden hinta on ilmiselvänä riskinä tässä erässä. Nykyi- sissä arvioinneissa käytetty reilu 60 €/MWh sisältäen siirtomaksut voisi vastata kuitenkin melko suurella varmuudella keskimääräistä vuoden hintaa 20 kV liitانتään. Lämmitysöl- lyn hinnaksi on oletettu vain 0,48 €/l, mikä lienee tulevaisuudessa liian vähän vaikka käy- tettäisiin halvinta raskasta polttoöljyä. Lämmitysjärjestelmäksi voidaan toisaalta vielä suunnitella joku muu ratkaisu. Dieselöljlyn hinnaksi on oletettu 0,82 €/l ja tarpeeksi n. 2000 litraa kuukaudessa. Työkoneetkin ovat tosin vielä tarkemmin suunnittelematta, jo- ten osaan voi hyvin vielä tulla esim. sähköinen voimansiirto.

-15 % 4,836262 +30 %

Korjaus ja kunnossapito

Huoltokustannusten on arvioitu olevan 1,5 % kokonaiskustannuksista perustuen koke- mukseen voimalaitosten vastaavista kuluista, jossa käyttö ja huolto ovat n. 2 %. Erä koos- tuu käytännössä lähinnä palkoista. Pitkä käyttöaika huomioon ottaen korjattavaa raken- nuksiin kyllä tulee, mutta toisaalta rakennusten hyvä rakennuslaatu huomioiden ensim- mäisinä vuosikymmeninä varmastikin hyvin vähän. Tällä perusteella kokonaissumma 20 M€ voi olla varsin varman päälle laskettu.

-20 % 7,117518 +10 %

Materiaalit

Materiaalit käsittävät jätepakkaukset ja kiinteytysmateriaalin, yhteensä 4,8 M€. Materiaa- lin tarvittava määrä voi olla vaikea ennustaa, sillä se riippuu mm. asetetuista vapautusra- joista. Kontaminoituvat tilat ovat joka tapauksessa pieniä, joten erä vaikuttaa kyllä riittä- vältä. Tarkemmin analysoimatta käytetään kuitenkin tässä karkeaa 20 % vaihteluväliä.

-20 % 1,688129 +20 %

Vakuutukset

Vakuutus on arvioitu skaalaamalla ydinvoimalaitoksen vakuutuskuluihin tilavuutta kohti ja kertomalla 0,5:llä. Vuodessa tästä tulee n. 100000 €. Erän pienuuskin huomioiden, sitä ei ole tässä tarkemmin analysoitu.

-20 % 0,456251 +20 %

ONKALOn käyttökustannukset: Tutkimustunnelin käyttö

Tunnelitutkimuksen käyttökulut, jotka ovat kaaviossa 33,2 M€, tuntuvat ensi silmäyksellä hyvinkin suurilta. Nykyinen kustannusarvio ei sinällään perustu mihinkään tarkkaan laskelmaan vaan on vain tietty prosenttiosuus käytönajan kustannuksista. Arvioinnin epävarmuuden vuoksi on summa hyvin konservatiivinen. Tokihan kaikki simuloinneilla ja laskennalla saadut arviot kalliooperästä ja virtauksista ym. on hyvä mahdollisuuksien mukaan varmentaa mittauksilla, mutta silti tähän voisi laittaa enemmän negatiiviseen kuin positiiviseen painottuneen jakauman.

-20 % 13,2704 +10 %

Loppusijoitustilojen käyttö:

Vakuutukset

Vakuutukset on arvioitu melko karkeasti 0,2 % /vuosi investointikustannuksista 100 M€. Tässäkään ei vakuutusten hintojen kehitystä ole mitenkään ryhdytty arvioimaan.

-20 % 0,821253 +20 %

Korjaus ja kunnossapito

Korjaus- ja kunnossapitoarvio on saatu oletuksella 1 % /vuosi rakennuskuluista 6,5 M€. Erää ei ole tarkemmin analysoitu vaan käytetään vakiojakaumaa.

-20 % 0,257542 +20 %

Tutkimusvaraus

Tutkimusvaraus koostuu käyttövaiheen aikana mahdollisesti tehtävistä kalliooperätutkimuksista 230000 € / vuosi. Tämä erä pitää sisällään siis käytännössä mm. tunnelien lopullisen suuntaamisen ennen louhinnan aloittamista. Periaatteessa on mahdollista, että kustannukset ylittyvätkin, mutta koska erä on varausluonteinen, se on vielä varsin epävarma molempiin suuntiin.

-25 % 0,944441 +25 %

Täyttöaineet ja koneet

Sijoitustunnelien täyttö tapahtuu vähitellen niiden täytyttyä kapseleista. Täyttöaineet ja koneet muodostavat nykyisessä arviossa n. 124,4 M€ kustannuksen ilman epävarmuuslisää ollen selvästi suurin Posivan yksittäisistä kustannuseristä. Tämä erä pitää sisällään loppusijoitustunnelien 373 €/m³ ja keskustunnelien 292 €/m³ täyttöaineet ja koneet. Palikat sisältyvät kapselilaitoksen henkilöstökuluihin. Tunnelien oletustäyttöaine kaaviossa vaihdettiin vuonna 2006 esipuristettuihin lohkoihin sekoitemassan sijasta Ruotsin esi-merkkiä seuraten. Tämä nosti suuresti kustannuksia, mutta on hyvin mahdollista, että jokin halvempi ratkaisu tulee kuitenkin käytännössä lopulta käyttöön. Tällä perusteella todennäköisyysjakauma tulee painottumaan negatiiviseen suuntaan.

-40 % 38,01917 +20 %

Bentoniittilohkot

Sijoitusreikiin tulevien bentoniittilohkojen hinta muodostuu materiaalista 155€/t ja lohkojen puristuskuluista 198€/t. Yhteen reikään menee vajaan 26 t bentoniittia (tai 23 t Loviisan kapselleille). Materiaalissa voisi olla riskinä sen kallistuminen, mutta puristamisen saattaisi pystyä tekemään hieman halvemmalla, jos tuotantotoiminta saadaan tehokkaasti käyntiin. Tässä erässä ei tätä kuitenkaan ole nyt tarkemmin laskelmoitu vaan käytämme vakiojakaumaa.

-20 % 3,440113 +20 %

Ruiskubetonin poisto

Ruiskubetoni poistetaan tunnelien seiniltä, koska se voi vaikuttaa haitallisesti bentoniitin ominaisuuksiin nostamalla pH:ta. Itse sijoitustunnelien seiniä ei kannata betonoida ollenkaan, kun ne kuitenkin ovat suhteellisen vähän aikaa avoimena. Tässä onkin kuitenkin ilmeisesti kyseessä vain käyttövaiheen aikana suljettavat keskustunnelit. Keskustunnelien määrä ja seinäpinta-ala eivät ole kovin suuria joten kokonaissumman 1M€ pitäisi riittää hyvin ja hieman jäävän ylikin.

-20 % 0,292121 +10 %

Sijoitustunnelien sulkurakenteet

Myös voi harkita sijoitustunnelien sulkuovien välttämättömyyttä, jos täyttäminen kuitenkin aloitetaan keskustunnelin perällä olevista sijoitustunneleista ja ovet on tarkoitus purkaa myöhemmin. Sikäli tähän on laitettu karkea negatiiviseen painottunut jakauma,

-35 % 1,54093 +10 %

Kapselointilaitoksen käytöstäpoisto:**Suunnittelu ja henkilöstömenot**

Kapselointilaitoksessa ei ole mitään aktivoitunutta osaa, mutta periaatteessa vähäistä kontaminaatiota tapahtuu väistämättä kun polttoaine-elementtejä siirrellään ja kuivataan. Riskinä voisi olla käsittelyn aikana syystä tai toisesta rikkoutuneet polttoainesauvat tai muuten lisääntynyt kontaminaatio. Puhdistamiseen on kuitenkin olemassa kalliit järjestelmät ja sikäli se tehdään paljolti jo käytön aikana. Koska erä on suhteellisen pieni, käytetään käytöstäpoiston eriin 20 % vakiojakaumaa.

-20 % 1,59744 +20 %

Jätepakkaukset, erikoislaitteet, energia ja vesi

Kokonaisarvio 2,8 M€. 20 % vakiojakauma.

-20 % 1,10656 +20 %

Vakuutukset

Vakuutukset on arvioitu tässäkin karkeasti 0,2 % /vuosi investointikustannuksista. Kokonaisarvio 0,1 M€. 20 % vakiojakauma.

-20 % 0,0416 +20 %

Loppusijoitustilojen sulkeminen:**Rakenteiden purku**

Purkuarviossa on oletettu kustannusten olevan 30 % rakennusteknisten töiden kustannuksista. Jos ovirakenteita ei tässä laajuudessa tehtäisi, rakenteiden purku, 8,8 M€, voidaan periaatteessa osaltaan välttää ja toisaalta esimerkiksi sähköjohtojen tiputtaminen seiniltä

luulisi olevan nopeaa ja romukupari arvokasta. Näillä perusteilla työ voitaneen tehdä halvemmallakin ja jakauma on enemmän negatiiviseen painottunut.

-25 % 3,536832 +5 %

Tunnelien ja kuilujen täyttö

Loppusijoitustilojen sulkeminen on yksi suurimpia kulueriä. Tämä erä käsittää lähinnä Onkalon ja hissikuilun täyttämisen. Alle 300 metrin syvyydellä olevat tilat täytetään bentoniitin ja murskeen sekoituksesta (30:70) tehdyistä lohkoista. Ylempänä olevat taas paikalla puristettavasta bentoniitti- ja murskeseoksesta (70:30). Hinnat töineen ovat 310 €/m³ ja 170 €/m³. Laskennalliset tilavuudet ovat 209592 m³ ja 185 426 m³, joihin lisätään 8 % ylimääräistä. Kokonaiskustannus on näin ollen reilut 104 miljoonaa.

Halvempiakin ratkaisuja täyttämiseen löytyy, kuten täyttäminen normaaliin tyyliin kivi- ja sora-aineksella, joskin näiden turvallisuus erittäin pitkän ajan skenaarioissa ei ilmeisesti ole riittävän hyvä. Nykyistä kalliimpien materiaalien käyttäminen puolestaan ei enää liene niin perusteltua. Tällä perusteella mahdollisuus huomattavasti halvempaankin toteutumaan on mahdollinen, mikä on kuitenkin melko konservatiivisesti arvioitu 30 % maksimisäästöksi alla.

-30 % 43,35386 +10 %

Sulkurakenteet

Kuilujen ja ajotunnelin yläpäätsät suljetaan 10 metriä paksuilla betonitulpilla estämään myöhempi tahaton tunkeutuminen. Hintana 400€/m³, josta tulee 0,6 M€ yhteensä. Lisäksi varaudutaan tekemään 5 m paksut bentoniittitulpat, jolloin kokonaishinta erälle on 1300 000 €. Sulkurakenteiden tarve on hieman spekulatiivista, joten on mahdollista, että jossain vaiheessa päätetään, ettei niitä tarvita. Betonin hinta voi olla myös hieman yläkanttiin. 30 % maksimisäästö on tässä kuitenkin vain karkea konservatiivinen arvio.

-30 % 0,7904 +10 %

Tutkimusreikien sulkeminen

Maanpäältä kairattuja reikiä arvioidaan tehtävän 50 kpl. Täyttökulun ollessa 400 00 € reikää kohti muodostuu kokonaishinnaksi 2 M€. Erä on pieni ja vaikuttaa melko järkevästi arvioidulta. Tutkimusrei'istä on jo suurin osa tehty joten niiden määrään ei siten ainakaan liittynyt suurta epävarmuutta. Siksi käytämme vakiojakaumaa jätehuoltokaaviosta saadun perusosan ympärillä.

-20 % 0,832 +20 %

Rakennuttajan kustannukset (13%)

Tässäkin on vain karkea 13 % prosenttiarvio. Mahdollisuus säästöihin on, varsinkin jos täyttötöissä käytetään halvempaa ja nopeampaa materiaalia, joten siksi pieni negatiiviseen suuntaan painottuminen.

-30 % 6,306701 +20 %

Loviisan VLJ-käyttökustannukset:

VLJ-luolan käyttö 2017 – 2035

Aikaisempien vuosien 2009- 2016 käyttökustannukset ovat mukana käytöstäpoiston kustannuksissa. VLJ -kustannusarvioista ei ollut tähän työhön käytettäväksi mitään arvioraporttia, mutta luolan käyttökustannukset pitäisi olla melko helppo laskea aikaisempien kustannusten perusteella. Sikäli oletetaan erä varsin oikeelliseksi ja sen ympärillä käytetään 20 % kumpaankin suuntaan.

-20 % 4,253795 +20 %

Kiinteytyslaitoksen käyttö

Loviisan voimalaitosjätteen käsittelykustannukset ovat suuria verrattuna TVO:n vastaviin. Erityisesti kiinteytyslaitos maksaa, jota Olkiluodossa ei näytä olevan ollenkaan. Toimintatavat ovat voimalaitoksissa kuitenkin erilaiset. Olkiluodossa on hyvin pienet varastot vesille ja ne siis haihdutetaan ja kiinteytetään bitumiin lähes välittömästi. Loviisassa on suuret säiliöt, joissa vettä voidaan säilyttää pitkään, jolloin suuri osa aktiivisuudesta on hävinnyt. Lisäksi vettä puhdistetaan haihdutuksen jälkeen erityisillä kemikaaleilla, jolloin betonoitavaa kertyy erittäin vähän. Olkiluodossa siis bitumointilaitos toimii jatkuvasti, kun taas Loviisan kiinteytyslaitos lähinnä vasta käytöstäpoiston jälkeen. Kustannuserän voi arvioida lasketun melko oikeansuuntaisesti, joten karkeasti arvioidut 20 % vaihteluvälit lienevät melko lähellä totuutta.

-20 % 18,27 +20 %

VLJ-luolan sulkeminen

Luolan täyttökustannukset, alle 3 M€ vaikuttavat melko pieniltä verrattuna esim. Onkalon täyttökustannuksiin. Näissä lyhytikäisemmän jätteen sijoitustiloissa käytetään ilmeisesti kuitenkin halvempaa tavallista kivi/sora-ainesta bentoniittiseosten sijaan. Materiaalin aktiivisuus pitkän ajan kuluttua on jo niin olematon, ettei ole perusteltua tehdä samantasoisia kulkeutumislaskelmia kuin käytetyn polttoaineen luolastolle eikä ajatella kalliimpaa täyttömateriaalia.

-20 % 2,917874 +20 %

Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoisto:

Projektihallinto ja suunnittelu

Myös voimalan käytöstäpoistokulut ovat paljon suurempia TVO:hon verrattuna. TVO:n suunnitelmat ovat kuitenkin vielä varsin keskeneräiset. Strategian vaihdos myöhästettyyn purkuun toisi suuria säästöjä, koska suurin osa materiaalista on (Co-60, 5 vuoden puoliintumisaika) menettänyt aktiivisuutensa. 20 vuoden säilytysajan jälkeen aktiivisuudesta on jäljellä alle kymmenesosa alkuperäisestä. Kuitenkin pitkän säilytysajan vartiointi ym. kulut ovat suuret. Vanhojen laitosten viivästetty purku kannattaisi siis ottaa käyttöön ainakin siinä tapauksessa, jos Loviisaan rakennetaan uusia yksiköitä.

Suunnittelu on pyritty tekemään jo mahdollisimman yksityiskohtaisesti etukäteen. Tämä vähentää suunnittelutyön tarvetta mahdollistaen alemmat kustannukset. Toisaalta byrokratian syntymistä ei koskaan pidä aliarvioida, joten sama jakauma kumpaankin suuntaan lienee paikallaan.

Yksi lisäturvaa poikkeustapauksessa tuova mahdollisuus olisi arvokkaiden konventionaalisten osien ja romumetallin myyminen suljetuista voimaloista vararahoituksena sellaisessa erikoistilanteessa, jota varten rahastokin luotu:

Arviot komponenttien painoista [Elias Mayer 2003]:

Turbiinit: 1500 t

Generaattorit: 450 t

Päämuuntajat: 1580 t

Omakäyttömuuntajat ja varaomakäyttömuuntaja: 200 t

Voimasähkökaapelia: 900 km

Yleisesti kaiken kaikkiaan metallia 51900 t, suurin osa kuitenkin rakenteissa
Oma arvio: Kuparia: väh. 1000 t, sekaromukuparin arvo 4€/kg, => romutusarvo 4 miljoonaa euroa
Turbiini- ja sähköraudan myynti: 2000 t, romuraudan arvo 0,3 €/kg => romutusarvo 600000 €
=> 5 miljoonaa euroa olisi helposti ja nopeasti revittävissä käytöstä poistetusta voimalasta pelkästään romusta.

Purkutoimenpiteistä kertyvien metallien ja mahdollisesti myytävissä olevien komponenttien arvoa voisi enemmänkin selvittää jatkossa, kun käytöstäpoistot lähestyvät. Tässä sitä ei kuitenkaan ole jakaumaan otettu mitenkään huomioon vaan käytämme paljolti vakiojakaumaa.

-20 % 4,918182 +20 %

Valmisteluvaihe

Valmisteluvaiheen työt tekee reaktorin käyttöhenkilökunta. Se sisältää mm. polttoaineen poiston reaktorista ja myöhemmän siirron välivarastoon, kaikkien primääripiirin prosessien tyhjennyksen ja huuhtelun, ajoluiskien tekemisen ja muun valmistelun suurten komponenttien siirtoon, laitteiden hankinnan, jne.

-10 % 35,26364 +10 %

Aktivoituneen materiaalin käsittely

Kontaminoituneen ja aktivoituneen materiaalin määrä ja kokonaisaktiivisuus on arvioitu hyvin konservatiivisesti, koska siihen on liittynyt epävarmuutta. Tällä perusteella on oletettavaa, että kustannukset ovat todennäköisimmin ainakin aavistuksen verran matalammat. Joka tapauksessa epävarmuus kumpaankin suuntaan on melko suuri.

-30 % 12,14214 +25 %

Kontaminoituneen materiaalin käsittely

Kontaminoitunutta materiaalia on arvion mukaan n. 6330 t (kokonaisaktiivisuus 68 TB, tärkeimmät aineet koboltti ja nikkeli). Tässäkin on käytetty kustannusarvio ollut varsin varman päälle laadittu. Suuri epävarmuus liittyy varsinkin purettavan materiaalin vapautusrajoihin, jotka ovat viranomaisen yksipuoleisesti määrittämiä. Nykyiset rajat vapautettavaksi kelpaavalle materiaalille ovat jo hyvin matalat ja periaatteessa raja-arvoilla ei ole enää mitään tekemistä materiaalin vaarallisuuden raja-arvojen kanssa. Eri maissa on erilaisia raja-arvoja, mutta täysin nollakaan se ei käytännössä voi olla, sillä betonissa on luonnostaan tiettyä aktiivisuutta. Nolla-arvo johtaisi äärimmillään siis siihen, että koko reaktorirakennus pitäisi purettaessa sijoittaa maan alle luolastoon. Vaihteluväli voisi siis periaatteessa tällä erällä helposti olla vieläkin suurempi, mutta kohtuuden nimissä käytämme alla olevaa arviota.

-30 % 98,62727 +25 %

Huoltojätteiden käsittely

Käytöstäpoistotyön yhteydessä syntyy kontaminoituneita haalareita yms. ja vesiä, jotka täytyy myös asianmukaisesti käsitellä. Kiinteytyskuluissa saattaa olla osin päällekkäisyyksiä edellä mainitun kiinteytyslaitoksen käytön kanssa tai ainakin huoltovesien käsittely saattaa mennä kätevästi vanhojen ohessa. Alla oleva jakauma on sikäli hieman negatiiviseen painottunut. Tässäkin kaikki riippuu kuitenkin paljolti vapautusrajoista yms.

-20 % 1,240057 +15 %

Jätepakkaukset

Metallirakenteet pakataan pääsääntöisesti betonilaatikoihin, betonijäte taas puulaatikoihin. Pakkaukset (Varsinkin puulaatikot) ovat vakiotavaraa, joiden hinta on helppo arvioida. Materiaalin ja työn hinnassa on tietysti vaihteluita, mutta suurin tekijä kuitenkin on tarvittavien laatikoiden lopullinen määrä. Tällä hetkellä erilaisia laatikoita tarvittaisiin n. 2000 kpl. Alla olevaan jakaumaan on otettu karkeasti vain epävarmuuskertoimen suuruiset vaihteluvälit.

-10 % 6,665835 +10 %

VLJ-luolan laajennus (III vaihe)

Erä sisältää louhintatyöt, rakenteet, koneet ja sähköistyksen ym., jotka tarvitaan reaktorin ja muiden komponenttien loppusijoitustilojen tekemiseen. Rakennustekniset työt ja kone-tekniset laitteet ovat lähes 7 miljoonassa ylittäen louhintatöitten kulut. Tässäkin erässä sijaa uusille ratkaisutavoille löytynee. Esimerkiksi loppusijoitustilaan rakennettava kiinteä siltanosturi, tilan erittäin lyhyt käyttöikä huomioon ottaen, voitaisiin korvata jollain väliaikaisella mobiililla nosturiratkaisulla.

-20 % 13,29712 +10 %

Käytöstäpoistovaiheen käyttökustannukset

Erä koostuu pääasiassa henkilöstökustannuksista. Mukana on kuitenkin mm. sähkö ja vaakuutukset. Aktiivisten materiaalien käsittelyyn liittyvissä erissä luulisi kuitenkin henkilöstökustannuksiakin jo paljolti sisällytetty. Joka tapauksessa arvion konservatiivisuus huomioon ottaen todennäköisin toteutuma lienee hieman alempi.

-20 % 60,65449 +10 %

Posivan T&K ja HALLINTO Vuodet 2009 – 2012

Tässä erässä on lähivuodet, joissa tutkimuskulut ovat niin suuret lukuisien kallioperää ja aineiden kulkeutumista mallintavien tutkimusten vuoksi. Tutkimukset teetetään suurimmaksi osaksi konsulttityönä esim. VTT:llä, Saanio & Riekkolalla ja Fortumilla. Kaiken kaikkiaan kustannukset ovat n. 9,4 M€ vuodessa, mutta aikaisemman kokemuksen perusteella tutkimustoiminta paisuu herkästi ja kustannukset saattavat tulla ylittymään. Tätä varten on oma lisävarauskin. Varsinkin juuri tutkimustoiminnan osalta Posivan toiminta on ollut ehkä liian konsulttivetoista, mikä on johtanut työn suuntautumista paikoin epäolennaisille alueille. T&K:sta ei ole olemassa kokonaisuutta katsovia kustannusarvioportteja, joten tässä käytetään ilman suurempaa analyysia vakiojakaumaa.

-20 % 15,01934 +20 %

T&K 2013 – 2040

Tutkimuskustannukset ovat hyvin suuria lähivuosina verrattuna näihin seuraaviin vuosikymmeniin, joille kokonaisarvio on vain 9,6 M€. Toisaalta tutkimus on jatkossa paljon kokeellisempaa ja on sijoitettu eri erään mm. Onkalo-tutkimukseen. Tarkemmin analysoimatta jakaumassa käytetään vakioväliä.

-20 % 3,83983 +20 %

Varaus T&K:n kust. nousulle vuosille 2009 – 2012

Varaus kustannusten nousuun yhteensä 33,2 M€ tulee Posivan näkemyksen mukaan hyvin todennäköisesti käytettyä. Erän varausluonteisuuden vuoksi laitetaan kuitenkin pieni negatiivinen painotus.

-30 % 13,2627 +20 %

Hallinto 2013 – 2020

Posivan hallinnointimenot lähitulevaisuudessa ovat suurempia kuin myöhemmin, koska kulut myöhemmin sijoittuvat osittain esimerkiksi rakennuttajan kustannuksiin. Tässä yhteydessä käytämme aavistuksen verran alhaisempiin kustannuksiin painottuvaa jakaumaa, koska säästömahdollisuuksia tarvittaessa kyllä on.

-15 % 7,71024 +10 %

Hallinto 2021 – 2044

Hallinnon ja tutkimusmenojen riskejä on melko vaikea arvioida. Näissä menoissa olisi periaatteessa paljonkin säästämisen varaa, mutta toisaalta, jos homma leviää käsiin, selvää ylärajaakaan ei kustannuksille ole. Ilman tarkempaa tietoa kustannusten yksityiskohdista käytetään 20 % vakiovaihteluväliä.

-20 % 2,202926 +20 %

Viranomaiskulut:**Valvontakustannukset Fortum 2009 – 2044**

Viranomaiskulut koostuvat STUK:n toimintamenoista jätehuollon turvallisuusteknisessä valvonnassa. Tässä erässä on sekä Fortumin osuus Posivan valvonnasta että Loviisan kustannukset. Tähän mennessä menot ovat käytännössä olleet vuosittain suuremmat kuin mitä kaaviossa on esitetty. Riskiä voidaan pienentää säännöllisin neuvotteluin STUK:n kanssa. Lopullisten töitten laajuus vaikuttaa myös vahvasti valvontatyönkin määrään. Todennäköistä kuitenkin on, että kustannukset saattavat olla jonkin verran nykyistä korkeammat.

-20 % 15,3816 +30 %

Valvontamaksu 2044

Kyseessä on n. 1M€ suuruinen summa, joka maksetaan STUK:lle suljettujen ja purettujen laitosalueitten ympäristön pitkän aikavälin kuluessa ajoittain suoritettavia mittauksia varten. Tarkoituksena on käyttää lähinnä sijoituksen korkotuottoja monitorointitoimintaan. Summa vaikuttaa varsin järkevältä ja se on niin pieni, että tarkemmin arvioimatta käytetään 20 % vaihteluväliä.

-20 % 0,33798 +20 %

Verot ja vuokrat:**Kiinteistöverot**

Tämä tarkoittaa luonnollisesti Posivan maksamaa veroa, n. 74 M€. Kiinteistövero määräytyy rakennustilavuuden mukaan. Myös kallioon louhitut tilat lasketaan. Tiloja käsitellään ydinlaitoksena sekä valvonnan että verojen osalta vaikka ydinmateriaalia niissä on vasta aikaisintaan 2020 ja sitä ennen toiminta on melko normaalia louhintaa ja rakennustyötä. Veroissa ja vuokrissa ei käytetä epävarmuuskerrointa, mutta periaatteessa niihin liittyy silti jonkinasteinen poliittinen riski veroasteen nostamisesta. Tässä yhteydessä kuitenkin sitä ei ole arvioitu vaan käytämme tasajakaumaa, kuten jätehuoltokaaviossakin.

-0 % 29,56054 +0 %

Kiinteistöverot Fortum 2021 – 2034

Loviisan laitosalueen kiinteistöverot käytön päättymisen jälkeen. Tässäkin käytetään tasajakaumaa.

-0 % 18,2437 +0 %

Maanvuokra

Maanvuokra on Posivan TVO:lle maksamaa vuokraa tonttialueestaan. 20000 € vuodessa 29 vuoden ajan, yhteensä 0,6 M€. Riskiä ei ole tai sen arviointi ei ole järkevää.

-0 % 0,231768 +0 %

7 LASKENTAA

Tässä kappaleessa on laskettu edellä määritetyillä jakaumilla kokonaiskustannusta ja sen vaihteluväliä. Alussa lasketaan oletuksella, että kaikki erät ovat toisistaan riippumattomia. Laskenta suoritetaan sekä analyttisesti että Monte Carlolla. Tämän jälkeen käsitellään erien välisiä riippuvuuksia ja niiden vaikutusta kokonaisuuteen. Erityisesti tehdään herkkyystarkastelua tietyille keskeisille tekijöille ja lopuksi myös tarkastellaan lyhyesti uusien voimalaitosyksiköitten vaikutusta varautumislaskelmiin.

7.1 Kaikki kustannuserät jakaumineen

Taulukkoon 5 on koottu edellisessä kappaleessa määritellyt kolmipistejakaumat sekä prosenteissa että rahassa, lukuarvot ovat miljoonaa euroa.

Taulukko 5: kaikki kustannuserät jakaumineen

	prosenttiosuudet			lukuarvot		
Lisätelineet	-20 %	0,50	20 %	0,40	0,50	0,60
Varasto 2:n itsenäistäminen 2009 - 2011	-20 %	10,93	20 %	8,75	10,93	13,12
Varasto 2:n its. käyttö vuosina 2012 - 2033	-20 %	23,56	20 %	18,85	23,56	28,27
Varasto 2:n lisäorganisaatio 2017 - 2033	-20 %	8,58	20 %	6,87	8,58	10,30
Siirtosäiliöt ja laitteet	-20 %	1,65	20 %	1,32	1,65	1,98
Investoinnit kuljetuskalustoon	-50 %	0,22	20 %	0,11	0,22	0,27
Kuljetusten suunnittelu	-40 %	0,01	40 %	0,01	0,01	0,02
Olkiluodon kuljetukset 2021 - 2033	-20 %	0,49	20 %	0,39	0,49	0,59
Loviisan kuljetukset 2021 - 2033	-20 %	0,55	40 %	0,44	0,55	0,77
Suunnittelu ja projektityö	-30 %	5,10	20 %	3,57	5,10	6,13
Rakennukset, rakenteet ja aluetyöt	-25 %	11,84	10 %	8,88	11,84	13,02
Polttoaineen käsittelyjärjestelmät	-20 %	7,92	20 %	6,33	7,92	9,50
Prosessijärjestelmät	-20 %	2,96	20 %	2,37	2,96	3,55
Automaatio- ja telejärjestelmät	-30 %	1,81	20 %	1,26	1,81	2,17
Sähkøjärjestelmät	-25 %	1,66	10 %	1,25	1,66	1,83
ONKALOn rakentaminen	-15 %	29,52	10 %	25,10	29,52	32,48
Louhintatyöt	-30 %	18,01	20 %	12,60	18,01	21,61
Sijoitusreiät	-30 %	4,93	20 %	3,45	4,93	5,92
Rakennustekniset työt	-20 %	2,57	20 %	2,06	2,57	3,08
Järjestelmät	-30 %	6,78	10 %	4,74	6,78	7,46
Kapseleiden kuljetuskalusto	-50 %	1,25	30 %	0,62	1,25	1,62
Bentoniittilohkojen kuljetuskalusto ja	-50 %	1,25	30 %	0,62	1,25	1,62

muut ajoneuvot						
Rakennuttajan kustannukset (13%)	-15 %	3,32	10 %	2,82	3,32	3,65
Cu-runko ja kansi (Fortum)	-20 %	29,96	40 %	23,97	29,96	41,95
Fe-runko ja kansi (Fortum)	-20 %	13,02	30 %	10,41	13,02	16,92
Kokoonpano, tarkastus ja kuljetus (Fortum)	-30 %	5,38	20 %	3,77	5,38	6,46
Henkilöstökulut	-60 %	29,29	20 %	11,72	29,29	35,00
Energia ja vesi	-15 %	4,84	30 %	4,11	4,84	6,29
Korjaus ja kunnossapito	-20 %	7,12	10 %	5,69	7,12	7,83
Materiaalit	-20 %	1,69	20 %	1,35	1,69	2,03
Vakuutukset	-20 %	0,46	20 %	0,37	0,46	0,55
Tutkimustunnelin käyttö	-20 %	13,27	10 %	10,62	13,27	14,60
Vakuutukset	-20 %	0,82	20 %	0,66	0,82	0,99
Korjaus ja kunnossapito	-20 %	0,26	20 %	0,21	0,26	0,31
Tutkimusvaraus	-25 %	0,94	25 %	0,71	0,94	1,18
Täyttöaineet ja koneet	-40 %	38,02	20 %	22,81	38,02	45,62
Bentoniittilohkot	-20 %	3,44	20 %	2,75	3,44	4,13
Ruiskubetonin poisto	-20 %	0,29	10 %	0,23	0,29	0,32
Sijoitustunnelien sulkurakenteet	-35 %	1,54	10 %	1,00	1,54	1,70
Suunnittelu ja henkilöstömenot	-20 %	1,60	20 %	1,28	1,60	1,92
Jätepakkaukset, erikoislaitteet, energia ja vesi	-20 %	1,11	20 %	0,89	1,11	1,33
Vakuutukset	-20 %	0,04	20 %	0,03	0,04	0,05
Rakenteiden purku	-25 %	3,54	5 %	2,65	3,54	3,71
Tunnelien ja kuilujen täyttö	-30 %	43,35	10 %	30,35	43,35	47,69
Sulkurakenteet	-30 %	0,79	10 %	0,55	0,79	0,87
Tutkimusreikien sulkeminen	-20 %	0,83	20 %	0,67	0,83	1,00
Rakennuttajan kustannukset (13%)	-30 %	6,31	20 %	4,41	6,31	7,57
VLJ-luolan käyttö 2017 - 2035	-20 %	4,25	20 %	3,40	4,25	5,10
Kiinteystylaitoksen käyttö	-20 %	18,27	20 %	14,62	18,27	21,92
VLJ-luolan sulkeminen	-20 %	2,92	20 %	2,33	2,92	3,50
Projektihallinto ja suunnittelu	-20 %	4,92	20 %	3,93	4,92	5,90
Valmisteluvaihe	-10 %	35,26	10 %	31,74	35,26	38,79
Aktivoituneen materiaalin käsittely	-30 %	12,14	25 %	8,50	12,14	15,18
Kontaminoituneen materiaalin käsittely	-30 %	98,63	25 %	69,04	98,63	123,28
Huoltojätteiden käsittely	-20 %	1,24	15 %	0,99	1,24	1,43
Jätepakkaukset	-10 %	6,67	10 %	6,00	6,67	7,33
VLJ-luolan laajennus (III vaihe)	-20 %	13,30	10 %	10,64	13,30	14,63
Käytöstäpoistovaiheen käyttökustannukset	-20 %	60,65	10 %	48,52	60,65	66,72
Vuodet 2009 - 2012	-20 %	15,02	20 %	12,02	15,02	18,02
T&K 2013 - 2040	-20 %	3,84	20 %	3,07	3,84	4,61
Varaus T&K:n kust.nousulle vuosille 2009 - 2012	-30 %	13,26	20 %	9,28	13,26	15,92
Hallinto 2013 - 2020	-15 %	7,71	10 %	6,55	7,71	8,48
Hallinto 2021 - 2044	-20 %	2,20	20 %	1,76	2,20	2,64
Valvontakustannukset Fortum 2009 - 2044	-20 %	15,38	30 %	12,31	15,38	20,00
Valvontamaksu 2044	-20 %	0,34	20 %	0,27	0,34	0,41
Kiinteistöverot	0 %	29,56	0 %	29,56	29,56	29,56
Kiinteistöverot Fortum 2021 - 2015	0 %	18,24	0 %	18,24	18,24	18,24

Maanvuokra	0 %	0,23	0 %	0,23	0,23	0,23
				547,04	717,36	841,44

Taulukossa on lopussa summattu kaikki keski-, ala- ja yläarvot keskenään. Keskimmäinen arvo on siis vain tämänhetkisen kaavion Fortumin erien summa ilman epävarmuuskertoimia. Alimpien arvojen summa on tämän analyysin pohjalta saatu eräänlainen kustannusten absoluuttinen minimi ja ylimpien arvojen summa taas äärimmäinen maksimi. Näiden toteutumisen todennäköisyys sinänsä on kuitenkin täysin nollassa.

7.2 Varianssit

Kolmiojakaumalle päti seuraavat odotusarvon ja sen varianssin kaavat:

$$E(x) = \frac{a + b + c}{3}$$

$$\text{var}(x) = \frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}$$

Kaavojen avulla on kaikille kustannuserille laskettu odotusarvo ja varianssi ja nämä on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6: Kustannuserille lasketut odotusarvot ja niiden varianssit

	odotusarvo	varianssi
Lisätelineet	0,50	0,00
Varasto 2:n itsenäistäminen 2009 - 2011	10,93	0,80
Varasto 2:n its. käyttö vuosina 2012 - 2033	23,56	3,70
Varasto 2:n lisäorganisaatio 2017 - 2033	8,58	0,49
Siirtosäiliöt ja laitteet	1,65	0,02
Investoinnit kuljetuskalustoon	0,20	0,00
Kuljetusten suunnittelu	0,01	0,00
Olkiluodon kuljetukset 2021 - 2033	0,49	0,00
Loviisan kuljetukset 2021 - 2033	0,59	0,00
Suunnittelu ja projektityö	4,93	0,28
Rakennukset, rakenteet ja aluetyöt	11,24	0,76
Polttoaineen käsittelyjärjestelmät	7,92	0,42
Prosessijärjestelmät	2,96	0,06
Automaatio- ja telejärjestelmät	1,75	0,03
Sähköjärjestelmät	1,58	0,01
ONKALOn rakentaminen	29,03	2,30
Louhintatyöt	17,41	3,42
Sijoitusreiät	4,77	0,26
Rakennustekniset työt	2,57	0,04
Järjestelmät	6,33	0,33
Kapseleiden kuljetuskalusto	1,16	0,04
Bentoniittilohkojen kuljetuskalusto ja muut ajo-neuvot	1,16	0,04
Rakennuttajan kustannukset (13%)	3,26	0,03
Cu-runko ja kansi (Fortum)	31,96	13,96
Fe-runko ja kansi (Fortum)	13,45	1,79
Kokoonpano, tarkastus ja kuljetus (Fortum)	5,20	0,31
Henkilöstökulut	25,34	24,54

Energia ja vesi	5,08	0,20
Korjaus ja kunnossapito	6,88	0,20
Materiaalit	1,69	0,02
Vakuutukset	0,46	0,00
Tutkimustunnelin käyttö	12,83	0,68
Vakuutukset	0,82	0,00
Korjaus ja kunnossapito	0,26	0,00
Tutkimusvaraus	0,94	0,01
Täyttöaineet ja koneet	35,48	22,48
Bentoniittilohkot	3,44	0,08
Ruiskubetonin poisto	0,28	0,00
Sijoitustunnelien sulkurakenteet	1,41	0,02
Suunnittelu ja henkilöstömenot	1,60	0,02
Jätepakkaukset, erikoislaitteet, energia ja vesi	1,11	0,01
Vakuutukset	0,04	0,00
Rakenteiden purku	3,30	0,05
Tunnelien ja kuilujen täyttö	40,46	13,57
Sulkurakenteet	0,74	0,00
Tutkimusreikien sulkeminen	0,83	0,00
Rakennuttajan kustannukset (13%)	6,10	0,42
VLJ-luolan käyttö 2017 - 2035	4,25	0,12
Kiinteytyslaitoksen käyttö	18,27	2,23
VLJ-luolan sulkeminen	2,92	0,06
Projektihallinto ja suunnittelu	4,92	0,16
Valmisteluvaihe	35,26	2,07
Aktivoituneen materiaalin käsittely	11,94	1,86
Kontaminoituneen materiaalin käsittely	96,98	122,94
Huoltojätteiden käsittely	1,22	0,01
Jätepakkaukset	6,67	0,07
VLJ-luolan laajennus (III vaihe)	12,85	0,69
Käytöstäpoistovaiheen käyttökustannukset	58,63	14,31
Vuodet 2009 - 2012	15,02	1,50
T&K 2013 - 2040	3,84	0,10
Varaus T&K:n kust.nousulle vuosille 2009 - 2012	12,82	1,86
Hallinto 2013 - 2020	7,58	0,16
Hallinto 2021 - 2044	2,20	0,03
Valvontakustannukset Fortum 2009 - 2044	15,89	2,50
Valvontamaksu 2044	0,34	0,00
Kiinteistöverot	29,56	0,00
Kiinteistöverot Fortum 2021 - 2015	18,24	0,00
Maanvuokra	0,23	0,00
	701,94	242,10

Odotusarvo on siis 701 M€ ja sen varianssi 242. Keskihajonnaksi saadaan näin ollen 15,6 M€. Suurimmat varianssit on kerätty alle taulukkoon 7.

Taulukko 7: Suurimmat varianssit

Kontaminoituneen materiaalin käsittely	122,94
Henkilöstökulut	24,54
Täyttöaineet ja koneet	22,48

Käytöstäpoistovaiheen käyttökustannukset	14,31
Cu-runko ja kansi (Fortum)	13,96
Tunnelien ja kuilujen täyttö	13,57
Varasto 2:n its. käyttö vuosina 2012 - 2033	3,70
Louhintatyöt	3,42
Valvontakustannukset Fortum 2009 - 2044	2,50
ONKALOn rakentaminen	2,30
Kiinteytyslaitoksen käyttö	2,23
Valmisteluvaihe	2,07
Aktivoituneen materiaalin käsittely	1,86
Varaus T&K:n kust.nousulle vuosille 2009 - 2012	1,86
Fe-runko ja kansi (Fortum)	1,79

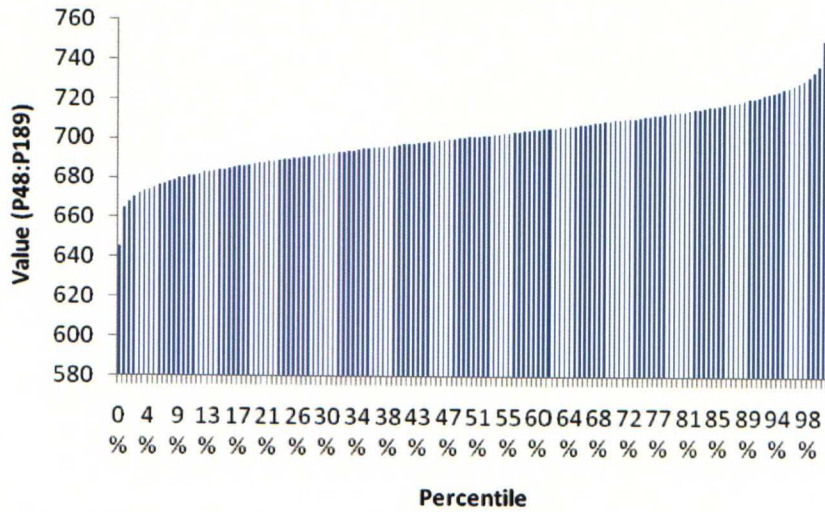
Loput variansseista ovat joko ykkösen tai jopa aivan nollan lähellä. Varianssiin vaikuttaa puhtaasti erän suuruus ja määritellyn jakauman laajuus. Taulukosta voidaan laskea, että kuusi suurinta erää jo muodostavat lähes 90 % kokonaisvarianssista. Kokonaisuuden kannalta siis vain näillä on olennaista merkitystä kustannusarvion toteutumiselle. Erityisen suuren painoarvon, lähes puolet kokonaisvarianssista, saa erä 'kontaminoituneen materiaalin käsittely', mikä johtuu paljolti siitä, että se on jo arvoltaan suurin erä. Käsiteltävän materiaalin määrään liittyy lisäksi suuri epävarmuus. Tekniset selvitykset eivät ole vielä kovin tarkkoja määrän suhteen ja lisäksi vapautusrajat voivat muuttua.

7.3 Monte Carlo-simulointi

Analyttisen kokonaiskustannuksen odotusarvon ja varianssin laskennan ohella kokeillaan vertailun vuoksi myös Monte Carlo-simulointia. Monte Carlo – simuloinnin huonompi puoli on, että sen suorittamiseen tarvitaan erillinen ohjelma. Tällaisessa Excel-pohjaisessa ohjelmassa luodaan jakaumat joka erälle, tyypillisesti lasketaan niiden summa tavallisella summa-funktiolla ja sitten tälle summalle ajetaan simulaatio. Tulosten valmistuttua voidaan valita halutut tulostiedot ja niiden kuvaajat.

Monte Carlo -simulaatiossa arvotaan satunnaislukugeneraattorin avulla yksi arvo jokaisesta todennäköisyysjakaumasta. Keskimmäistä arvoa lähellä olevat mahdolliset kustannukset ovat todennäköisimpiä ja siksi ne myös todennäköisemmin tulevat valituksi arvonnassa. Kaikki arvotut lukuarvot summataan yhteen jolloin saadaan kokonaiskustannus. Simulointi tehdään tässä esimerkissä 5000 laskentakierroksella eli periaatteessa saadaan 5000 mahdollista kokonaiskustannusta. Kokonaiskustannukset voidaan lajitella monella tapaa. Esim. suuruusjärjestykseen lajiteltuna sen mukaan kuinka suuri osa kokonaiskustannuksen arvoista on kyseistä arvoa alhaisempi. Alla on esitetty tällainen S-käyrä ja siihen liittyvä numeerinen data. Käyrä osoittaa millä todennäköisyydellä tietty rahausuma riittäisi kokonaiskustannusten kattamiseen.

Simulation: Percentile Distribution



Value	Probability	17 %	686,31	35 %	695,51
Percentile	Value	18 %	686,67	36 %	695,89
0 %	645,73	18 %	687,19	37 %	696,14
1 %	665,44	19 %	687,56	38 %	696,42
1 %	668,26	20 %	688,00	38 %	696,74
2 %	670,65	21 %	688,34	39 %	697,06
3 %	672,21	21 %	688,72	40 %	697,39
4 %	673,38	22 %	689,12	40 %	697,68
4 %	674,50	23 %	689,49	41 %	697,91
5 %	675,43	23 %	689,89	42 %	698,17
6 %	676,62	24 %	690,21	43 %	698,43
6 %	677,51	25 %	690,49	43 %	698,73
7 %	678,42	26 %	690,82	44 %	698,99
8 %	679,13	26 %	691,13	45 %	699,24
9 %	680,11	27 %	691,40	45 %	699,54
9 %	680,60	28 %	691,78	46 %	699,87
10 %	681,31	28 %	692,14	47 %	700,11
11 %	681,85	29 %	692,45	48 %	700,39
11 %	682,44	30 %	692,88	48 %	700,75
12 %	683,13	31 %	693,29	49 %	701,03
13 %	683,55	31 %	693,63	50 %	701,32
13 %	683,99	32 %	693,99	50 %	701,61
14 %	684,38	33 %	694,29	51 %	701,88
15 %	684,89	33 %	694,62	52 %	702,20
16 %	685,38	34 %	694,99	52 %	702,48
16 %	685,85	35 %	695,25	53 %	702,79

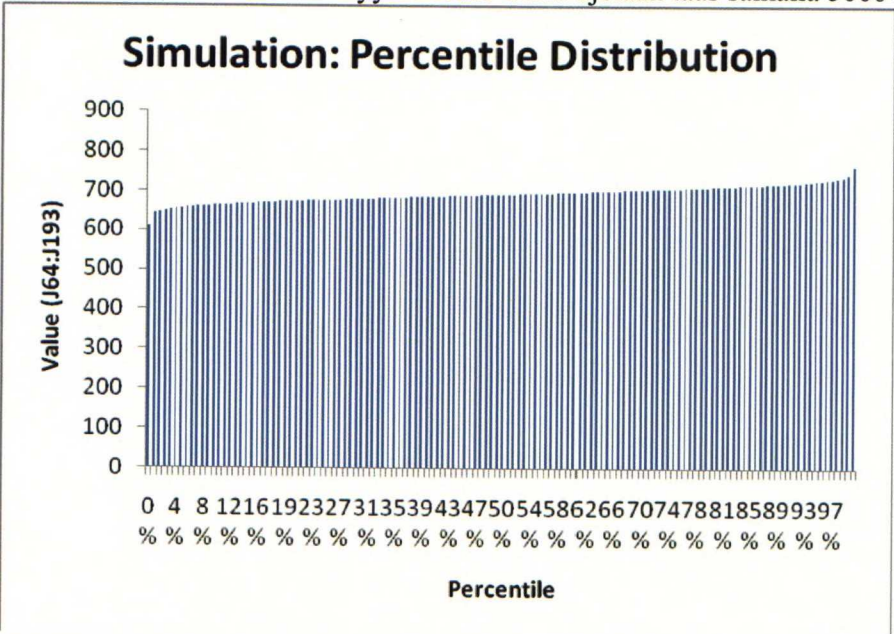
54 %	703,06	84 %	717,09
55 %	703,30	85 %	717,48
55 %	703,60	86 %	717,82
56 %	703,89	87 %	718,36
57 %	704,17	87 %	718,91
57 %	704,50	88 %	719,38
58 %	704,74	89 %	720,07
59 %	705,02	89 %	720,85
60 %	705,29	90 %	721,32
60 %	705,58	91 %	721,95
61 %	705,85	91 %	722,71
62 %	706,06	92 %	723,33
62 %	706,44	93 %	723,93
63 %	706,72	94 %	724,78
64 %	707,02	94 %	725,66
65 %	707,34	95 %	726,56
65 %	707,67	96 %	727,90
66 %	707,97	96 %	728,89
67 %	708,32	97 %	730,41
67 %	708,64	98 %	731,97
68 %	708,91	99 %	734,30
69 %	709,27	99 %	737,23
70 %	709,59	100 %	750,12
70 %	709,92		
71 %	710,21		
72 %	710,52		
72 %	710,76		
73 %	711,01		
74 %	711,23		
74 %	711,68		
75 %	712,14		
76 %	712,43		
77 %	712,81		
77 %	713,16		
78 %	713,61		
79 %	713,94		
79 %	714,34		
80 %	714,68		
81 %	715,04		
82 %	715,44		
82 %	715,81		
83 %	716,26		
84 %	716,66		

Jätehuoltokaavion summa ilman epävarmuuskerrointa 717,36 miljoonaa euroa riittää siis 84 prosentin varmuudella. Yleisesti Monte Carlo – laskennassa käytetty 50 % raja puolestaan olisi 701 miljoonassa eurossa. Huomionarvoista on, että epävarmuuskerrointen kanssa rahat riittävät 100 % varmuudella.

Mielenkiintoista tuloksissa on myös se, että 50 % arvo vastaa täysin analyttisen laskennan odotusarvoa. 84 % ja 16 % kohdalla olevat arvot vastaavat myös melko tarkasti kokonaiskustannuksen keskihajontaa, jos kokonaiskustannusta käsiteltäisiin normaalijakaumana. Tämä siitä huolimatta, että yksi kustannuserä dominoi niinkin selvästi. Tästä voidaan päätellä, ettei Monte Carlo-laskenta tuo analyttiseen lähtökohtaan verrattuna mitään uutta. Siitä voisi olla hyötyä vain, jos mukana laskennassa olisi normaalijakauman nähdessä hyvin epäsäännöllisen muotoisia jakaumia, kuten esimerkiksi sellaisia, joilla on hyvin pitkä ja kapea ”häntä” toiseen suuntaan.

7.4 Monte-Carlo-simulointi tasajakaumilla

Vertailun vuoksi kokeillaan kolmiojakauman sijasta tasajakaumia, joilla siis eri arvoilla on kaikilla sama todennäköisyys. Monte Carlo ajetaan taas samalla 5000 kierroksella.



Percentile	Value	Percentile	Value	Percentile	Value
0 %	611,68	6 %	660,74	13 %	668,50
1 %	645,47	7 %	661,92	14 %	669,41
2 %	649,10	8 %	662,86	15 %	670,29
2 %	652,05	9 %	663,94	16 %	670,94
3 %	654,15	9 %	664,59	16 %	671,86
4 %	656,02	10 %	665,75	17 %	672,48
5 %	657,92	11 %	666,46	18 %	673,21
5 %	659,30	12 %	667,26	19 %	673,69
		12 %	667,95	19 %	674,27

20 %	674,97	47 %	691,76	74 %	709,08
21 %	675,57	48 %	692,14	75 %	709,67
22 %	676,11	49 %	692,66	76 %	710,39
22 %	676,60	50 %	693,23	77 %	711,04
23 %	677,17	50 %	693,68	78 %	711,68
24 %	677,67	51 %	694,07	78 %	712,34
25 %	678,08	52 %	694,51	79 %	712,89
26 %	678,58	53 %	694,90	80 %	713,39
26 %	679,04	53 %	695,20	81 %	713,85
27 %	679,56	54 %	695,65	81 %	714,39
28 %	679,99	55 %	696,23	82 %	714,95
29 %	680,33	56 %	696,64	83 %	715,59
29 %	680,89	57 %	697,06	84 %	716,18
30 %	681,31	57 %	697,49	85 %	716,82
31 %	681,75	58 %	698,05	85 %	717,42
32 %	682,15	59 %	698,51	86 %	717,92
33 %	682,77	60 %	698,98	87 %	718,71
33 %	683,38	60 %	699,49	88 %	719,56
34 %	683,89	61 %	699,88	88 %	720,18
35 %	684,44	62 %	700,37	89 %	720,85
36 %	684,92	63 %	700,88	90 %	721,91
36 %	685,36	64 %	701,38	91 %	722,98
37 %	685,73	64 %	701,96	91 %	723,90
38 %	686,14	65 %	702,45	92 %	724,80
39 %	686,66	66 %	703,08	93 %	726,26
40 %	687,09	67 %	703,54	94 %	727,31
40 %	687,45	67 %	704,11	95 %	728,45
41 %	688,03	68 %	704,59	95 %	730,19
42 %	688,37	69 %	705,06	96 %	731,96
43 %	688,98	70 %	705,66	97 %	733,83
43 %	689,47	71 %	706,28	98 %	736,24
44 %	689,91	71 %	706,96	98 %	739,69
45 %	690,46	72 %	707,49	99 %	744,60
46 %	690,84	73 %	707,90	100 %	767,16
47 %	691,33	74 %	708,39		

Jätehuoltokaavion summa ilman epävarmuuskerrointa 717,36 miljoonaa euroa riittää siis 85 prosentin varmuudella. 50 % raja olisi 693 miljoonassa eurossa. Epävarmuuskerrointen kanssa rahat riittävät edelleen 100 % varmuudella. Tasajakauman käyttäminen ei yllättäen kovin paljon muuta tuloksia verrattuna kolmiojakauman käyttöön vaikka simuloinnin ajaisi useampaankin kertaan.

7.5 Erien välisten riippuvuuksien huomioiminen

Yllä olevissa laskuissa ei ole otettu huomioon erien välisiä riippuvuuksia. Kuitenkin ainakin joillain erillä on selvää korrelaatiota keskenään. Riippuvuuksien selvittämiseen on olemassa kaksi vaihtoehtoa. Olennaisesti toisistaan riippuvat erät voidaan laskea yhteen ja määritellä niille uusi yhteinen jakauma. Toinen vaihtoehto on luoda erille ns. korrelaatiomatriisi. Tämä ratkaisu on harkinnan arvoinen ainakin, jos käytettävissä on Monte Carlo -ohjelma, jossa on tähän mahdollisuus. Analyttisestäikin laskettaessa matriisin käyttö kyllä onnistuu. Matriisin käyttö on kuitenkin hankalampaa, jos eriä on paljon kuten tässä tapauksessa. Siksi tässä edetään eriä yhdistelemällä.

Edellisessä kappaleessa yleisinä riskeinä käsitelty useampaan kustannuserään samanlaisesti vaikuttavat tekijät ovat hyvänä pohjana käsiteltäessä erien välisiä korrelaatioita. Keskeiset materiaalit kuten kupari, rauta, sähkö, öljytuotteet ja työvoima ovat selvästi osallisena useammassa erässä suunnilleen alla olevan taulukon 8 mukaisesti. Bentoniittisaven osalta on enemmänkin kyse saven laadusta ja muista tunneleiden täytön ja sulkeamisen vaatimuksista kuin varsinaisen savimateriaalin hinnasta. Toinen keskeinen vaatimustekijä on purku- ym. jätteille asetetut vapautusrajat. Lisäksi taulukossa on arvioitu, mitkä erät tulevat melko varmasti alenemaan vanhojen reaktorien osalta, kun OL-3 ja mahdollinen Lo-3 otetaan käyttöön.

Taulukko 8: Eri tekijöiden vaikutus kustannuseriin (numeroarvo tarkoittaa korrelaatiokerrointa, X on arvioimatta jätetty kerroin):

	kupari	rauta	öljy	sähkö	palkat	täyttövaatimukset	vapautusrajat	OL3	Lo3
Lisätelineet									
Varasto 2:n itsenäistäminen 2009 - 2011									
Varasto 2:n its. käyttö vuosina 2012 - 2033					X				
Varasto 2:n lisäorganisaatio 2017 - 2033					X				X
Siirtosäiliöt ja laitteet	0,1								X
Investoinnit kuljetuskalustoon	0,1								X
Kuljetusten suunnittelu					X				X
Olkiluodon kuljetukset 2021 - 2033			0,1		X				
Loviisan kuljetukset 2021 - 2033			0,3		X				X
Suunnittelu ja projektityö					X			X	X
Rakennukset, rakenteet ja alue-työt		0,1						X	X
Polttoaineen käsittelyjärjestelmät								X	X
Prosessijärjestelmät								X	X
Automaatio- ja telejärjestelmät								X	X
Sähköjärjestelmät	0,1							X	X
ONKALOn rakentaminen								X	X
Louhintatyöt									
Sijoitusriiät									
Rakennustekniset työt		0,1							
Järjestelmät								X	X
Kapseleiden kuljetuskalusto								X	X
Bentoniittilohkojen kuljetuskalusto ja muut ajoneuvot								X	X
Rakennuttajan kustannukset (13%)					X				

Palkkakustannukset ovat osittain mukana lähes kaikissa erissä ja merkittävänä tekijänä niin monissa muuten sekalaisissa erissä, että niiden pohjalta ei ole syytä vetää riippuvuuksia erien välille. Muutokset palkkoissa ovat yleensä pieniä ja vakaita, palkkatason räjähtäminen käsiin valtakunnallisesti on varsin epätodennäköinen ilmiö. Tietysti on vielä monia abstrakteja tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa lähes kaikkiin eriin kuten projektiorganisaation tehokkuus ja valvovan viranomaisen yleinen asenne. Näitä ei kuitenkaan tässä tarkemmin käsitellä.

Myös selkeästi toisistaan riippuvaisia eriä, joilla ei ole varsinaisia yhteisiä tekijöitä, löytyy. Näitä kiinteästi samaan pakettiin kuuluvia ja toisaalta jonkin voimakkaan yhteisen tekijän varassa olevia eriä on mahdollista yhdistellä, koska niiden kehittymisellä on olennaista riippuvuutta toisistaan. Alla olevassa taulukossa 9 on näitä useammasta eri erästä yhdisteltyjä uusia eriä. Riippuvuuksien analyysia voisi olla hyödyllistä tehdä tarkemmin jatkossa suurimpien erien osalta, jolloin eriä voitaisiin pilkkoa pienempiin, tietyistä tekijöistä riippuviin osiin. Näiden osien löytäminen käytettävissä olevan lähtömateriaalin perusteella ja rajallisella ajalla johtaisi kuitenkin tässä yhteydessä moniin liian karkeiden subjektiivisten arvioiden soveltamiseen.

Taulukko 9: Uusia yhdisteltyjä eriä

Varaston investoinnit ja käyttö	34,46	43,08	51,69
Kuljetukset	0,84	1,05	1,38
Erikoisajoneuvot	1,25	2,50	3,24
Kapselit	38,15	48,36	65,33
Täyttökustannukset	62,78	94,58	108,89
Loviisan purkutyöt, pakkaus, VLJ	151,07	201,85	240,97
Tutkimuskustannukset	34,99	45,39	53,14
Hallinto	8,32	9,91	11,12
Valvonta	12,58	15,72	20,40

Nyt voidaan jälleen laskea odotusarvot ja varianssit aikaisemmin määritellyllä kaavalla. Yhdistellyillä erillä lasketut tulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10: odotusarvot ja varianssit erillä, joista osa on yhdisteltyjä

	odotusarvo	varianssi
Lisätelineet	0,50	0,00
Siirtosäiliöt ja laitteet	1,65	0,02
Investoinnit kuljetuskalustoon	0,20	0,00
Suunnittelu ja projektityö	4,93	0,28
Rakennukset, rakenteet ja aluetyöt	11,24	0,76
Polttoaineen käsittelyjärjestelmät	7,92	0,42
Prosessijärjestelmät	2,96	0,06
Automaatio- ja telejärjestelmät	1,75	0,03
Sähköjärjestelmät	1,58	0,01
ONKALOn rakentaminen	29,03	2,30
Louhintatyöt	17,41	3,42

Sijoitusreitit	4,77	0,26
Rakennustekniset työt	2,57	0,04
Järjestelmät	6,33	0,33
Rakennuttajan kustannukset (13%)	3,26	0,03
Henkilöstökulut	25,34	24,54
Energia ja vesi	5,08	0,20
Korjaus ja kunnossapito	6,88	0,20
Materiaalit	1,69	0,02
Vakuutukset	0,46	0,00
Vakuutukset	0,82	0,00
Korjaus ja kunnossapito	0,26	0,00
Tutkimusvaraus	0,94	0,01
Suunnittelu ja henkilöstömenot	1,60	0,02
Jätepakkaukset, erikoislaitteet, energia ja vesi	1,11	0,01
Vakuutukset	0,04	0,00
Rakenteiden purku	3,30	0,05
VLJ-luolan sulkeminen	2,92	0,06
Projektihallinto ja suunnittelu	4,92	0,16
Valmisteluvaihe	35,26	2,07
VLJ-luolan laajennus (III vaihe)	12,85	0,69
Kiinteistöverot	29,56	0,00
Kiinteistöverot Fortum 2021 - 2015	18,24	0,00
Maanvuokra	0,23	0,00
Varaston investoinnit ja käyttö	43,08	12,37
Kuljetukset	1,09	0,01
Erikoisajoneuvot	2,33	0,17
Kapselit	50,61	31,41
Täyttökustannukset	88,75	92,84
Loviisan purkutyöt, pakkaus, VLJ	197,96	338,61
Tutkimuskustannukset	44,51	13,83
Hallinto	9,78	0,33
Valvonta	16,23	2,58
	701,94	528,16

Varianssin suuruus on siis selvästi kasvanut, kun toisistaan riippuvaiset erät yhdistettiin. Keskihajonnaksi saadaan ottamalla varianssista neliöjuuri n. 23 M€. Suurimpien varianssien järjestykseen riippuvuuksien käsittely vaikutti jonkin verran yhdisteltyjen erien painoarvoa kasvattavasti. Täyttökustannukset ja kapselit nousivat käytetyn polttoaineen loppusijoitustoiminnan henkilöstökuluja merkittävämmäksi riskitekijäksi. Myös tutkimuskustannusten rahamääraisten epävarmuuksien painoarvo nousi, samoin välivarastointikulujen.

Taulukko 11: Suurimmat varianssit

Loviisan purkutyöt, pakkaus, VLJ	338,61
Täyttökustannukset	92,84
Kapselit	31,41
Henkilöstökulut	24,54
Tutkimuskustannukset	13,83
Varaston investoinnit ja käyttö	12,37
Louhintatyöt	3,42
Valvonta	2,58
ONKALOn rakentaminen	2,30
Valmisteluvaihe	2,07
Rakennukset, rakenteet ja alue-työt	0,76

Suurimmat riskitekijät näyttäisivät siis nykyisellään liittyvän vapautusrajoista yms. eniten riippuvaan voimalaitoksen purkutöihin. Suuri merkitys on, että siihen liittyvät yksittäiset erät ovat suurimmat Fortumille vielä nykyisellä käytetyn polttoaineen määrillä. Toinen merkittävä tekijä kokonaisuudessa ovat Posivan tunneleitten ja Onkalon lopulliset täyttö- ja sulkukustannukset. Jos mukaan lasketaan vielä kapseleitten ja henkilöstökulujen epävarmuus, on näillä neljällä suurimmalla n. 92,2 % kokonaisvarienssista.

7.6 Herkkyystarkastelua

Herkkyystarkastelussa käsitellään sitä miten yksittäiset tekijät vaikuttavat kokonaiskustannukseen. Jos esimerkiksi viranomaisvaatimukset kiristyvät matala-aktiivisen jätteen käsittelyssä siten, että aktiivisuuden raja-arvo vapautettavaksi kelpaavalle materiaalille on aiempaa pienempi, vaikuttaa se useampaan kuin yhteen erään jätehuoltokaaviossa. Edellä suoritetun analyysin perusteella kolme merkittävintä parametria voisivat olla juuri vapautusrajat, käytetyn polttoaineen loppusijoitustilojen täyttövaatimukset sekä kuparin hinta.

Vapautusrajojen osalta on periaatteessa kaksi selkeää ääripäätä. Joko mitään reaktorirakennukseen sisältyvää materiaalia ei saa vapauttaa tai sitten kaiken saisi. Näistä kumpikaan, varsinkin jälkimmäinen, ei ole kuitenkaan realistinen mahdollisuus. Tarkkaa arviota on tähän vaikea laskea, mutta oletusarvoisesti nollavapautusrajalalla, joka on käytössä muutamissa maissa, esim. Ranskassa, voisi kustannus nousta enimmillään n. 1,5-kertaiseksi. Tämä siksi, koska Suomessa matala-aktiivisen jätteen käsittely on suhteellisen halpaa, koska luolastot ovat voimalaitosalueella. Kustannuksia kasvattaa VLJ-luolan laajentaminen, ylimääräiset pakkaukset, jne. Toisaalta kustannuksia säästää hieman se, että purkumateriaalin aktiivisuutta ei ehkä tarvitse mitata samalla tavoin kuin vapautettaessa. Kerrottaessa kokonaiserä 1,5:llä yhteiserä:

Loviisan purkutyöt, pakkaus, VLJ	197,96
----------------------------------	--------

voisi nousta lähes 300 M€:on. Kokonaiskustannuksen odotusarvo on tällöin n. 802 M€, mikä vielä mahtuu nykyisen varautumissumman 827 M€ sisälle, mutta varsin niukasti.

Täyttövaatimusten osalta äärimmäinen maksimihinta voisi käytännössä olla, että kaikki tunnelit täytettäisiin puristetuilla bentoniittilohkoilla samaan tyyliin kuin nyt kapselin ympäristö sijoitusreiässä. Halvin ratkaisu taas olisi, jos tunnelit täytettäisiin tavallisella täyttömaalla, soralla tms..

Täyttökustannukset

88,75

Jos kaikki tunnelit täytettäisiin puhtailla bentoniittilohkoilla, nousisivat täyttökustannukset kaiken kaikkiaan Fortumin osalta hyvin karkean arvion mukaan n. 400 – 500 miljoonaan euroon. Tämä johtaisi tietysti 827 M€:n varautumissumman ylittymiseen. Toimenpiteen järkevyyttä ei tosin mikään seikka tue, mutta tosiasia on, että ääritilanteissa tunnelien täyttömateriaalin valinta on kuitenkin keskeisimpiä kustannusten muutoksiin vaikuttavia tekijöitä.

Kuparin hinnan voisi käytännössä kuvitella vaihtelevan tulevaisuudessa äärimmillään välillä 2-10 €/kg. Nykyinen hinta-arvio on 4 €/kg. Kun raaka-aineen osuus on nykyisellään noin puolet kupariosan hinnasta [Wikström 2007], olisi vaikutusväli maksimissaan [-25%, +125%].

Erän

Cu-runko ja kansi (Fortum)

31,96

kokonaiskustannus olisi välillä 24-72 M€. Kokonaiskustannuksen odotusarvo nousisi siis pahimmassa tapauksessa 742 M€:on. Varautumissummaan 827 M€ olisi kuitenkin vielä matkaa, joten kuparin hinta ei ole missään tilanteessa se suurin riskitekijä kokonaisuuden kannalta.

7.7 Uusien voimalaitosyksiköitten vaikutus

Olkiluoto 3:n tulo mukaan aiheuttaa suuret pienennykset vanhoja reaktoreja kohti Posivan kiinteitten kustannusten osalta. Jos lasketaan sähköntuotantotehojen perusteella, OL3:n osuus on 0,37 ja siten vanhojen reaktorien rahastovähennys olisi n. 216 M€.

Käytännössä kustannukset jaetaan tietysti polttoainemäärien mukaan, mutta summa lieene suunnilleen samaa luokkaa tässäkin tapauksessa. Nykyisissä varautumisennusteissa Loviisan osalta poistuu n. 72 miljoonan euron vastuumäärä vuonna 2011. Rahastomak-suissa uudet laitosyksiköt ottavat kuitenkin osansa Posivan kiinteistä kustannuksista porastetusti vasta 25 vuoden kuluessa.

Loviisa 3:n mahdollinen mukaantulo puolestaan aiheuttaisi säästöjä sekä Posivan kiinteissä kustannuksissa että lähes kaikissa Fortumin omissa erissä. Jos yksikön teho olisi myös 1600 MW, OL3:n ja Lo-3:n yhteinen osuus olisi 0,54, ja rahastovähennys nykyisten yksiköiden osalta n. 315 M€. Vaikutusta Fortumin omiin eriin on sen sijaan vaikeampi arvioida. Karkean oman arvion mukaan välivarastoinnissa voisi hyötyä tulla 21 M€ arvosta, VLJ -käsittelyssä n. 4 M€ ja käytöstäpoistossa n. 18 M€. Viivästetty purku voisi myös tulla harkinnan arvoiseksi asiaksi, jolloin säästöt voisivat olla huomattavat erityisesti kontaminoituneen ja aktivoituneen materiaalin käsittelyssä.

Tässä työssä on käsitelty ydinjätehuollon kustannuksia todennäköisyyspohjaisesti laajemmin kuin Suomessa aikaisemmin. Työssä on erityisesti analysoitu yleisiä ja kustannuseriin liittyviä riskejä ja mahdollisuuksia. Riskianalyysiin ja todennäköisyyspohjaiseen kustannuslaskentaan liittyen on tehty kirjallisuusselvitystä erilaisista aiheeseen liittyvistä menetelmistä ja näiden perusteella luotu oma, erityisesti tähän tarkoitukseen sopiva menettelytapa.

Jotta riskianalyysi ja varojen riittävyyden arviointi olisi järkevää, on porauduttava sisälle kustannuseriin ja niiden sisältämään riskiin ja mahdollisuuteen. Työn analyysiosia onkin pyritty tekemään ikään kuin selittäväksi liitteeksi jätehuoltokaavioon tutustuvalla lukijalle. Riskien analysoinnin perusteella on muodostettu kullekin kustannuserälle todennäköisyysjakauma ja laskettu näillä kokonaiskustannus erilaisilla todennäköisyyspohjaisilla laskentatavoilla. Lopuksi on tehty vielä herkkyydestarkastelua ja arvioitu mm. uusien voimalaitosyksiköitten vaikutusta. Aihe ja sen käsittely on kaiken kaikkiaan ollut diplomityöksi huomattavan laajaa, mutta työn tekeminen on ollut opettavaista ja hyvä syventävä perehdytys aihepiiriin.

Nykyisen deterministisen mallin puutteet ovat lähinnä siinä, että taloudellisia riskejä, niiden vaikutusta ja todennäköisyyttä ei ole määritelty kovin kattavasti. Näin ollen ei myöskään saada arviota kokonaiskustannuksen toteutumisen todennäköisyydelle. Todennäköisyyspohjainen tarkastelutapa tarjoaa hyvän lähtökohdan budjetin loppusumman ja sen riskien ja mahdollisuuksien tarkasteluun. Todennäköisyysmenetelmät eivät kuitenkaan ehkä ole parhaimmillaan juuri varautumislaskelmia tehtäessä. Ne jonkin verran monimutkaistavat tilannetta ja erilaisten vaihtoehtojen määrä laskennan lopullisessa toteuttamistavassa on suuri. Sen käyttöönotto Ruotsin esimerkkiin vedoten voisi alentaa rahastomaksuja ja varautumissummaa. Todennäköisesti kuitenkin hyvin vähän, jos ollenkaan, sillä viranomaisten kanssa pelkkään laskutapaan pohjautuvat alennukset tuskin menevät läpi. Periaatteessa kaikki riskien tarkastelu ja mahdolliset kustannusten alentamiset voidaan tehdä myös vanhan deterministisen mallin pohjalta. Sen käyttäminen toistaiseksi jatkossakin on sikäli järkevää. Todennäköisyyslaskentaan pohjautuvalla päivitettävällä analyysillä voidaan toki ajoittain hakea lisävarmuutta laskentaan.

Työssä kehitetyn kustannusten oikeellisuus- ja riskianalyysimenettelyn avulla voidaan saada pienilläkin resursseilla hyviä tuloksia verrattuna mm. ruotsalaiseen Lichtenbergin menetelmään. Tehdyn pienimuotoisen kirjallisuusselvityksen mukaan ei riskien analysointiin ole olemassa mitään erityistä menetelmää tämänkaltaiseen kustannusarvioon käytettävissä vaan prosessin on perustuttava seuraavankaltaisiin yleisesti tunnettuihin työtapoihin:

- Asiantuntijan arvio ja arvion tarkastuttaminen
- Pienryhmäarvioinnit
- Vertailuluokka-arviointi/Tilastot
- Varianssien analysointi/Monte Carlo-simulointi
- Suurimpien riskien ja mahdollisuuksien listaus
- Päivittäminen ja toimintaehdotukset

Työssä suoritettua riskianalyysin pohjalta voidaan sanoa, että nykyiset kustannusarviot eri erillä on pääsääntöisesti laskettu hyvin konservatiivisesti. Suurin osa erilaisista riskeistä on siis jo huomioitu tai ainakin erä saattaa olla niin varman päälle, että pienet riskit mahduttavat hyvin ylijäämään. Olennaisimmat kustannusriskit liittyvät mahdollisiin viranomaisen antamiin tiukempiin vaatimuksiin ja raja-arvoihin sekä teknisten suunnittelijoiden työn tuloksena syntyviin kalliimpiin ratkaisuehdotuksiin.

Inflatorisista seikoista ainoastaan lähinnä kuparin ja liikennepolttoaineitten hinnat saattavat nykyisissä kustannusarvioissa käytettyyn yksikköhintaan nähden aiheuttaa merkittävää riskiä. Nykyiset markkinahinnat ovat toisaalta näissä tuotteissa historiallisesti poikkeuksellisen korkeita ja siksi kannattaa odottaa tilanteen kehittymistä ennen muutoksien tekemistä oletusarvoihin. Loppujen lopuksi kummatkin materiaalit hankitaan pitkän ajan kuluessa, joten myös pitkän ajan keskiarvo tulevaisuudessa tai siis arvio siitä on oltava laskujen pohjana.

Eräkohtaisessa tarkastelussa selvitettiin jokaisen kustannuserän sisältöä lyhyesti, jonka pohjalta arvioitiin eräkohtaisia riskejä ja näiden perusteella muodostettiin todennäköisyysjakaumat kullekin. Työn selvitysosasta on yritetty tehdä mahdollisimman selkeä kokonaisuus, jota on suhteellisen helppo päivittää myöhemmin tietojen ja näkemyksen tarkentuessa. Riskianalyysin tuloksia voidaan hyvin käyttää myös deterministisen kustannuskaavion kehittämiseen. Saaduista jakaumista laskettiin ensin odotusarvot ja varianssit ja näiden perusteella kokonaiskustannus ja sen keskihajonta. Tämän jälkeen vertailun vuoksi sovellettiin Monte Carlo -simulointia sekä kolmio- että tasajakaumilla. Eri-erien välisten riippuvuuksien selvittäminen koettiin tässä vaiheessa tärkeäksi ja sopivasti yhdistellyillä erillä laskettiin vielä kokonaiskustannuksen odotusarvo ja varianssi.

Fortumin nykyisten kustannusten odotusarvoksi saatiin ilman riippuvuuksien käsittelyä n. 702 M€ eli hieman vähemmän kuin jätehuoltokaavion summa ilman epävarmuuskertoimia. Keskihajonta kokonaiskustannukselle oli n. 15,6 M€.

Erilaisten mahdollisten riippuvuuksien huomioiminen ei muuttanut odotusarvoa, mutta keskihajonta kasvoi n. 23 M€:on. Monte Carlo -simuloinnin perusteella rahaston varat ilman epävarmuuskerrointa riittävät n. 84–85 % varmuudella. Kuitenkin, jos epävarmuuslisät otetaan huomioon, on riittävyys täydet 100 %. Tässä analyysissä ei ole katsottu järkeväksi yrittää käydä läpi katastrofiskenaarioita, mutta tällaisten tapahtumien äärimmäinen epätodennäköisyys huomioon ottaen varmuus säilyisi todennäköisesti n. 99 prosentissa joka tapauksessa.

Suurimmat epävarmuustekijät liittyvät Loviisan käytöstäpoistoon, Posivan tunneleitten täyttöön, loppusijoituskapseleitten hintaan sekä loppusijoituksen henkilöstö- ja tutkimuskuluihin. Muutaman olennaisen parametrin herkkyystarkastelu osoittaa, että kuparin hinnan nousu tai vapautusrajan lasku ei missään tilanteissa yksinään riitä rahastoon varatun summan ylittämiseen. Tunnelien täyttömateriaalina voidaan periaatteessa käyttää miten kallista ainetta tahansa, kuten puhtaita bentoniittiblokkeja, mikä jo sinällään aiheuttaisi valtavat kustannuslylykset. Tällaista skenaariota ei kuitenkaan voida pitää kovin järkevänä.

Lisävarmuutta rahastoon tuovat useat muutkin tekijät. Erityisesti se, että tulevia kuluja ei diskontata. Tämä jo itsessään vähentää monia riskejä yleisen kustannustason kasvuun liittyen. Toinen merkittävä tekijä on varautumisen laskentaperuste, jonka mukaan kaikki ydinenergiatoiminta maassamme loppuisi vuoden sisällä. Tulevaisuudessa kasvavat jätemäärät alentavat nykyisten osalle tulevia kiinteitä kustannuksia. Tulevat uudet voimalaitosyksiköt vaikuttavat samoin. Samalle laitosalueelle tulevat yksiköt tuovat lisäksi säästöjä vanhojen yksiköitten käytöstäpoistoon ja jätehuoltoon.

Työn kustannuseriä analysoivassa osassa on esitetty joitakin pienempiäkin mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja kustannusten alentamiseen tai säilyttämiseen, mutta kokonaisuuden kannalta tärkeysjärjestys on seuraava:

1. Vapautusrajojen kehittymiseen vaikuttaminen ja tarkempi purkusuunnittelu
2. Tunnelien ja kuilujen täyttötavat
3. Kapseloinnin nopeuttaminen täyteen kapasiteettiin
4. Kapselien yhteisvalmistus kansainvälisesti
5. Loppusijoitustilojen ja rakennusten suunnitteluun osallistuminen

Erityisesti kontaminoituneen materiaalin lopulliseen määrään liittyen olisi hyvä saada lisää varmuutta.

Voimayhtiön kannalta on ennen kaikkea tärkeää, etteivät rahastomaksut kasva yllättäen, mutta myös rahaston kokonaissumman ei tulisi olla tarpeettoman paljon ylimitoitettu. Ensinnäkin se sitoo pääomaa, jota voitaisiin hyvin käyttää tuottaviin investointeihin muualla. Toiseksi on ehkä olemassa sellainen psykologinen seikka, että mahdollinen ylimäärä ennakkovarautumisessa vaikuttaa myös tulevien suunnitelmien ja hankintojen toteuttamiseen. Kustannus- ja koko projektihallinto onkin aina viime kädessä riippuvainen siitä, mitä kentällä tapahtuu. Pääpaino toiminnassa tulisi siis olla itse suunnitelmien tarkoituksenmukaisuuden ja kustannustehokkuuden sekä varsinaisen rakennuttamisen, hankintatoimen ja käyttötoimenpiteiden hyvässä johtamisessa ja hallinnassa.

9 LÄHDELUETTELO

[Flyvbjerg 2003] Bent Flyvbjerg, Nils Bruzelius, and Werner Rothengatter, 2003. *Megaprojects and Risk: An anatomy of Ambition*. Cambridge University Press.

[Forsström 2006] Forsström, J. 2006. Ydinjätehuollon kustannusriskianalyysi. Esitutkimus. VTT, Espoo. VTT Working Papers 64, 51 s, ISBN 951-38-6615-7.
(<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W64.pdf>)

[Kukkola 2007] Tapani Kukkola, Timo Saanio, 31.10.2007. Cost estimate of Olkiluoto disposal facility for spent nuclear fuel. Memo, version 6. 46 s.

[Kuljetus 2004] Posiva 2004, Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusriskitarkastelun päivitys. ISBN 951-652-130-4. 156s. <http://www.posiva.fi/publications/Posiva%202004-04web.pdf>

[Lichtenberg 2005] Steen Lichtenberg 2005. How to avoid overruns and delays successfully -- nine basic rules and an associated operable procedure. Proposed paper to the ICEC Internet Journal. <http://www.personly.dk/Lichtenberg1.htm>

[Luenberger 1998] David G. Luenberger 1998. Investment science. ISBN 0-19-510809-4.

[Mayer 2003] Elias Mayer 2003. Loviisan Voimalaitos, Käytöstäpoiston työsuunnitelma

[Onkalo 2008] Onkalon kuukausiraportti 4/2008. ONK-100748

[PLAN 2003] Svensk Kärnbränslehantering AB, June 2003. Plan 2003, Costs for management of the radioactive waste products from nuclear power production. Technical Report TR-03-11.

[Posiva 2006] Posiva/Janne Tanskanen, Joulukuu 2006. Laitoskuvaus 2006, Loppusijoituslaitossuunnitelmien yhteenvetoraportti. Työraportti 2006-102. 147s.

[RAND 2006] RAND/Mark V. Arena et al. 2006. Impossible certainty: cost risk analysis for Air Force systems. ISBN 0-8330-3863-X
http://www.rand.org/pubs/monographs/2006/RAND_MG415.pdf

[Ranta 2007] Timo Ranta 2007. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituskustannusten optimointi. Diplomityö, Posiva/Tampereen Teknillinen Yliopisto.

[Saanio 2007] Timo Saanio, Tapani Kukkola, 12.10.2007. Olkiluodon loppusijoituslaitos. Loppusijoitustilojen kustannusarvio vuosien 2007-2008 varautumista varten. Saanio & Riekkola Oy. PROJEKTI-865-x/2007. 13 s.

[Wikström 2007] Nils-Christian Wikström 23.10.2007. Loppusijoituskapselin kustannusarvio. Posiva, POS-003311.

LIITE 1: YDINJÄTEHUOLTOKAAVIO VUODELLE 2008



POSIVA OY
27160 Olkiluoto

ASTA/2008

Arvioitu vuotuisen kustannustason muutos:
(12/2007 -> 12/2008) 4,00 %

KPA	TVO	Fortum	VLJ (TVO)	TVO	Fortum
• Käytettyjä polttoainepiippuja (yht)	7978	4389	• Loppusijoitettu keskiakt. jäte betonilaatikko	530,0	
• Määrä (tU)	1411	529	• Loppusijoitettu vähä-akt. jäte betonilaatikko	795,0	
• Kapsleita yhteensä (kpl)	665	366	• Sijoittamaton keskiakt. jäte betonilaatikkoon	110,0	
			• Sijoittamaton vähä-akt. jäte betonilaatikkoon	1180,0	
Käytöstäpoistojäte			VLJ (Fortum)		
• Käytöstäpoistojätettä yhteensä (m3)	26609	15500	• Käytetyt ioninvaihtohartsit (m3)	556	
			• Haihdutusjätteet, lietteet ja sakat (m3)	700	
			• Cs-erotuskolonnit (kpl)	26	
			• Huoltojäte (m3)	2010	

VUODEN 2008 VASTUUMÄÄRÄARVIO (mlj. euroa)

	Yksikkö kustann.	Lkm	Kustannus arvio	Kustannus arvio - toteutuneet erävaram.	toteutuneet erävaram.	Kust. + erävaram.	Kuntien osuus	Muutava osuus	TVO:n osuus	Fortumin osuus
						Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.
1 KPA VÄLIVARASTOINTI								133,91	81,61	52,29
1.1 Olkiluodon varaston rakentaminen										
1.2 Olkiluodon varaston laajennus										
1.2.1 Laajennus			4,2	4,2	1,15	4,8			6,5	
1.2.6 Telineet 2014	0,48	3	1,4	1,4	1,15	1,6			4,8	
1.3 Olkiluodon varaston itsenäistämisen										
1.3.1 Suunnittelukustannukset			0,4	0,4	1,15	0,5			1,6	
1.3.2 Laitteet ja järjestelmät			1,1	1,1	1,15	1,3			2,2	
1.3.3 Työmaakustannukset			0,1	0,1	1,15	0,1			0,5	
1.3.4 OL 1:n jätelaitoksen osuus			0,3	0,3	1,15	0,3			1,3	
1.4 Olkiluodon varaston käyttö										
1.4.1 Henkilökulut	1,34	25	33,4	33,4	1,20	40,1			0,1	
1.4.2 Energia ja vesi	0,35	25	8,8	8,8	1,20	10,5			0,3	
1.4.3 Korjaus, kunnossapito ja materiaalit	0,39	25	9,7	9,7	1,20	11,6			0,3	
1.4.4 Vakuutukset	0,08	25	2,0	2,0	1,20	2,4			0,3	
1.4.5 OL 1:n jätelaitoksen osuus	0,09	25	2,2	2,2	1,20	2,6			0,3	
1.5 Olkiluodon varaston käytöstäpoisto										
1.5.1 Suunnittelu			0,6	0,6	1,30	0,8			5,7	
1.5.2 Purku ja käytöstäpoisto			1,5	1,5	1,30	2,0			0,8	
1.5.3 Käyttökustannukset	1,15	2	2,3	2,3	1,30	3,0			2,0	
1.6 Loviisan varaston laajennuskustannukset										
1.6.3 Lisätilat	0,10	5	0,5	0,5	1,20	0,6			0,6	
1.7 Loviisan varaston itsenäistämisen										
1.7.1 Varasto 2:n itsenäistämisen 2009 - 2011			10,9	10,9	1,20	13,1			0,6	
1.8 Loviisan varaston käyttökustannukset										
1.8.1 Varasto 2:n its. käyttö vuosina 2012 - 2017	1,07	22	23,6	23,6	1,20	28,3			13,1	
1.8.2 Varasto 2:n lisäorganisaatio 2017 - 2020	0,50	17	8,6	8,6	1,20	10,3			38,6	
1.9 Loviisan varaston käytöstäpoisto										
									28,3	
									10,3	
	Yksikkö kustann.	Lkm	Kustannus arvio	Kustannus arvio - toteutuneet erävaram.	toteutuneet erävaram.	Kust. + erävaram.	Kuntien osuus	Muutava osuus	TVO:n osuus	Fortumin osuus
						Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.
2 KPA KULJETUS								5,63	5,92	8,03
2.1 Investoinnit										
2.1.2 Siirtosäiliöt ja laitteet	2,06	2	4,1	4,1	1,20	5,0			3,4	
2.1.4 Investoinnit kuljetuskalustoon			0,6	0,6	1,20	0,7			2,0	
2.2 Kuljetukset										
2.2.1 Kuljetusten suunnittelu			0,1	0,1	1,20	0,1			0,4	
2.2.2 Olkiluodon kuljetukset 2021 - 2033	0,01	195	2,3	2,3	1,20	2,8			0,3	
2.2.3 Loviisan kuljetukset 2021 - 2033	0,05	53	2,6	2,6	1,20	3,1			0,4	
	Yksikkö kustann.	Lkm	Kustannus arvio	Kustannus arvio - toteutuneet erävaram.	toteutuneet erävaram.	Kust. + erävaram.	Kuntien osuus	Muutava osuus	TVO:n osuus	Fortumin osuus
						Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.
3 KPA LOPPUSJAOITUS								392,54	642,56	669,88
3.1 Kapselointilaitoksen rakentaminen										
3.1.1 Suunnittelu ja projektityö			12,8	12,8	1,20	15,3			56,3	
3.1.2 Rakennukset, rakenteet ja aluetyöt			29,6	29,6	1,20	35,5			9,2	
3.1.3 Polttoaineen käsittelyjärjestelmät			19,8	19,8	1,20	23,7			21,3	
3.1.4 Prosessijärjestelmät			7,4	7,4	1,20	8,9			14,2	
3.1.5 Automaatio- ja telejärjestelmät			4,5	4,5	1,20	5,4			5,3	
3.1.6 Sähköjärjestelmät			4,2	4,2	1,20	5,0			3,2	
									3,0	

3.2	ONKALON rakentaminen										81,2		48,7	32,5
3.2.1	ONKALON rakentaminen										81,2		48,7	32,5
3.3	Loppusijoitusiltojen rakentaminen										5,0	140,8	100,0	45,7
3.3.1	Louhintatyöt											70,7	49,1	21,6
3.3.2	Sijoitusreitit											19,4	13,4	5,9
3.3.3	Rakennustekniset työt											10,1	7,0	3,1
3.3.4	Järjestelmät											26,6	18,5	8,1
3.3.5	Kapseloiden kuljetuskalusto										2,5	0,5	1,5	1,5
3.3.6	Bentonitiililohkojen kuljetuskalusto ja muut ajoneuvot										2,5	0,5	1,5	1,5
3.3.7	Rakennuttajan kustannukset (13%)										10,8	13,0	9,0	4,0
3.4	Kapselit											178,0	120,0	58,0
3.4.1	Cu-runko ja kansi (TVO)										0,09	665	75,4	
3.4.2	Fe-runko ja kansi (TVO)										0,04	665	31,5	
3.4.3	Kokoonpano, tarkastus ja kuljetus (TVC)										0,02	665	13,0	
3.4.4	Cu-runko ja kansi (Fortum)										0,08	366	36,0	36,0
3.4.5	Fe-runko ja kansi (Fortum)										0,04	366	15,6	15,6
3.4.6	Kokoonpano, tarkastus ja kuljetus (Fort)										0,01	366	6,5	6,5
3.5	Kapselointilaitoksen käyttö											146,7	94,6	52,1
3.5.1	Henkilöstökulut										6,68	12,4	99,0	63,9
3.5.2	Energia ja vesi										1,10	12,4	16,3	10,5
3.5.3	Korjaus ja kunnossapito										1,62	12,4	24,1	15,5
3.5.4	Materiaalit										0,38	12,4	5,7	3,7
3.5.5	Vakuutukset										0,10	12,4	1,5	1,0
3.6	ONKALON käyttökustannukset											39,8	23,9	15,9
3.6.1	Tutkimustunnelin käyttö										3,32	10	39,8	23,9
3.7	Loppusijoitusiltojen käyttö											177,1	122,7	54,4
3.7.3	Vakuutukset											2,7	3,2	2,2
3.7.4	Korjaus ja kunnossapito											0,8	1,0	0,7
3.7.5	Tutkimusvaraus											3,1	3,7	2,6
3.7.6	Täyttöaineet ja koneet											124,4	149,2	103,6
3.7.7	Bentonitiililohkot											10,6	12,7	8,6
3.7.8	Ruiskubetonin poisto											1,0	1,1	0,8
3.7.9	Sijoitustunnelien sulkurakenteet											5,0	6,0	4,2
3.8	Kapselointilaitoksen käytöstäpoisto											8,2	4,9	3,3
3.8.1	Suunnittelu ja henkilöstömenot											4,0	4,8	2,9
3.8.2	Jätepakkaukset, erikoislaitteet, energia ja vesi											2,8	3,3	2,0
3.8.3	Vakuutukset											0,1	0,1	0,1
3.9	Loppusijoitusiltojen sulkeminen											164,5	98,7	65,8
3.9.1	Rakenteiden purku											8,8	10,6	6,4
3.9.2	Tunnelien ja kuilujen täyttö											108,4	130,1	78,0
3.9.3	Sulkurakenteet											2,0	2,4	1,4
3.9.4	Tutkimusreikien sulkeminen											2,1	2,5	1,5
3.9.5	Rakennuttajan kustannukset (13%)											15,8	18,9	11,4

	Yksikkö kustann.	Lkm	Kustannus arvio	Kustannus arvio - toteutuneet erävarm. kerroin	Kust. + erävarm.	Yht.	Yht.	Kiinteä osuus	Muutuva osuus	TVOn osuus	Fortumin osuus
4	VOIMALAITOSJÄTE										
									43,65	13,27	30,38

4.1	Oikiluodon VLJ investoinnit													
4.2	Oikiluodon VLJ kustannukset												13,3	
4.2.1	Pakkaukset: (3,9 m3 betonilaatikko)										0,00	9	0,0	0,0
4.2.2	Pakkaukset: (5,2 m3 betonilaatikko)										0,00	29	0,0	0,1
4.2.3	Olemassaolevan jätteen käsittely 2009												1,2	1,5
4.2.6	Käyttökustannukset vuosina 2009 - 203										0,13	25	3,2	3,7
4.2.7	Käyttökustannukset vuosina 2034 - 20										0,13	6	0,8	0,9
4.2.8	Sulkemiskustannukset												6,2	7,1
4.3	Loviisan VLJ-investoinnit													
4.4	Loviisan VLJ-käyttökustannukset													30,4
4.4.1	VLJ-luolan käyttö 2017 - 2035										0,17	25	4,3	5,1
4.4.2	Kiinteytyslaitoksen käyttö												18,3	21,9
4.4.3	VLJ-luolan sulkeminen												2,9	3,4

	Yksikkö kustann.	Lkm	Kustannus arvio	Kustannus arvio - toteutuneet erävarm. kerroin	Kust. + erävarm.	Yht.	Yht.	Kiinteä osuus	Muutuva osuus	TVOn osuus	Fortumin osuus
5	KÄYTTÖTÄPOISTO										
									423,87	161,54	262,33

5.1	Valvottuun säilytykseen saattaminen												13,5	
5.1.1	Suunnittelu												1,2	1,3
5.1.2	Valvottuun säilytykseen saattamisen valmistelu												7,2	8,3
5.1.3	Sisäosien ja sydänrak. paloitt. ja pakkaam.												0,7	0,8
5.1.4	Varaus reaktoripaineastian täyteaineelle												0,3	0,4
5.1.5	Varaus paineastioihin mahtumattomille sisäosille												2,3	2,6
5.2	Oikiluodon voimalaitoksen valvottu säilytys													6,0
5.2.1	Valvottu säilytys 2009 - 2038										0,17	30	5,2	6,0
5.3	Aktiivitoimien laitososien purku													31,0
5.3.1	Projektitoiminta ja käyttö												7,0	8,1
5.3.2	Paineastioiden irrotus ja siirto pihalle												2,5	2,9
5.3.3	Biologisen suojan ja lämmöneristeväestön purku												6,3	7,3
5.3.4	Pakkaukset												1,8	2,1
5.3.5	Varaus paloittelematta jättämisen suunn. tarkentamiselle												9,2	10,6

